



Monographie
L'usine du futur



INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE RENNES

L'Usine du futur

Projet Sciences Humaines

HENRY G. PARISOT M. BALU F. WERNER V. DUFAC A.

Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement les personnes suivantes :

- Madame Valérie Derrien-Remeur, pour son soutien et son implication dans notre projet,
- Monsieur Michaël Honiat, pour le temps et les précieuses connaissances qu'il nous a accordés,
- Madame Tatiana Reinhard et Monsieur Colin Torre, pour leur enthousiasme et la présentation des imprimantes 3D
- Le personnel de la bibliothèque de l'INSA pour les conseils et l'aide apportée à ce sujet.

Abstract

WHAT IS THE FUTURE OF INDUSTRY?
HOW THE TECHNOLOGY WILL CHANGE THE INDUSTRY OF TOMORROW?

Industry has been through several revolutions over the last centuries, all induced by the development of new technologies such as steam machines or electricity. The current growth of new technologies may lead to think we'll be witnessing a new revolution in the close future.

Our work is about figuring what could be the future's industry. We first studied the historic side of this question, trying to understand the past revolutions to anticipate the next one. We also thought about the means necessary for this new industry to come true such as equipment and organization.

Then we tried to think about the implications of this evolution, in terms of economy, ecology and security. After exchanging with some actors of this evolution, we also considered that the future of industry could be not in the digitalization of factory but in people having access to means to make their ideas real by themselves (for instance with 3D printers).



Sommaire

Introduction

Dans le contexte économique d'aujourd'hui, les entreprises industrielles s'intéressent au futur de l'industrie et de leurs activités. Certaines se réunissent comme EDF, Total, Michelin, Orange ou la SNCF afin de mener ensemble leur réflexion prospective. D'autres entreprises mènent cette réflexion en interne, Bonduelle par exemple a mis en place une réflexion sur ce que sera l'alimentation végétale en 2025.

Et des entreprises comme Orange, la SNCF ou Air Liquide accueillent maintenant des labs dans leurs locaux. Ces labs sont des ateliers dédiés au prototypage rapide et à la collaboration afin d'essayer d'entrevoir les pratiques et les technologies qui seront la base de l'industrie de demain. C'est pourquoi nous avons choisi de traiter cette question d'actualité dans notre dossier de monographie autour d'une problématique large:

Quelle sera l'usine du futur ?

Ce travail n'a pas pour but de proposer une réponse unique à cette réponse mais d'en présenter les différents aspects et enjeux ainsi que d'explorer plusieurs pistes sur ce que pourrait être l'usine de demain.

Nous sommes cinq élèves ingénieurs de l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes. Nous suivons un cursus en Electronique et Informatique Industriel, et sommes donc particulièrement concerné par la question de la modernisation des usines de demain.

Afin de mener à bien cette approche du sujet, nous avons récolté des informations de différentes sources, puis nous avons partagé nos idées sur la question avec des professionnels qui sont au cœur de cette évolution de l'industrie. Cela nous a permis de nous faire une idée de l'ampleur de cette question à laquelle nous tentons de répondre.

1. L'usine de demain, une nouvelle approche

1.1 Les révolutions industrielles

Une révolution industrielle a toujours été précédée de progrès scientifiques, techniques et organisationnels. C'est encore le cas, aujourd'hui, avec l'adoption de la numérisation de pans entiers de l'économie. Nous exposerons ici les différentes révolutions industrielles, leurs causes et leurs conséquences.

1.1.1 1ère révolution industrielle, la machine à vapeur

La première révolution industrielle repose sur le charbon, la métallurgie, le textile et la machine à vapeur. Elle démarre en Grande-Bretagne à la fin du XVIIIème puis se propage en France au début du XIXème avant de s'étendre en Allemagne, aux États-Unis, au Japon et à la Russie. Ce phénomène mondial est associé à d'autres bouleversements :

- **Au niveau démographique :** très forte augmentation de la population
- **Au niveau social :** Migrations et progression de la pauvreté
- **Au niveau économique :** Progression importante de la richesse globale produite
- **Au niveau politique :** Luttes pour la démocratie
- **Au niveau idéologique :** Triomphe du libéralisme



Figure 2 : Locomotive à vapeur
(Ph. G. Sirot/ Archives Larousse)

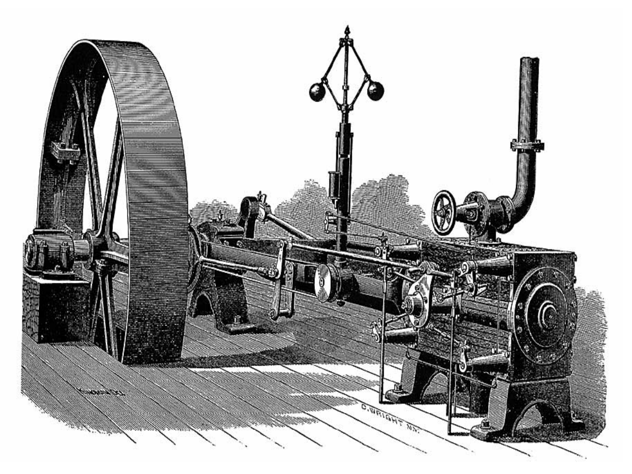


Figure 1 : Machine à vapeur d'une usine de textile (Ph. Slater Mill Historic Site)

Mais l'industrie (au sens de production de masse avec des produits finis à faible coût) n'aurait jamais vu le jour sans progrès scientifiques et techniques. Les améliorations apportées en 1705 par Thomas Newcomen à la machine à vapeur et l'extension de son utilisation à l'industrie et un peu plus tard l'amélioration de la machine à vapeur (James Watt en 1769).

En effet, sans cette avancée technologique majeure, la révolution industrielle n'aurait pas pu être possible. Ce nouveau progrès technique va permettre l'apparition de machine outil mais également de la locomotive, mise au point par Stephenson en 1815, suivi de la construction de vastes réseaux de chemin de fer, dont les premières lignes apparaissent dans les années 1830.

L'équipement ferroviaire des territoires, encouragé et partiellement financé par l'État dans le cas français, augmenta incontestablement la vitesse de la diffusion technologique, homogénéisant les espaces (ainsi la grande région industrielle Belgique-France du Nord-Rhénanie) et les systèmes productifs, et contribuant, dans le cas des États-Unis (lignes transcontinentales achevées entre 1869 et 1883), à la conquête du territoire.

La métallurgie prend son essor avec la découverte du procédé de la fonte au coke, qui évite de recourir au charbon devenu rare. En fait, la fonte au coke a fait son apparition en Angleterre entre 1705 et 1720, à la suite des trouvailles de la famille Darby, mais un siècle entier s'est écoulé avant que disparaissent complètement les fourneaux au charbon de bois.

Plusieurs autres perfectionnements seront nécessaires (technique du laminoir, machine à aléser en 1775, tour à fileter, puddlage, c'est-à-dire passage de la fonte à l'acier par décarburation, en 1784) pour que la fonte et le fer atteignent des qualités de solidité et de résistance suffisantes.

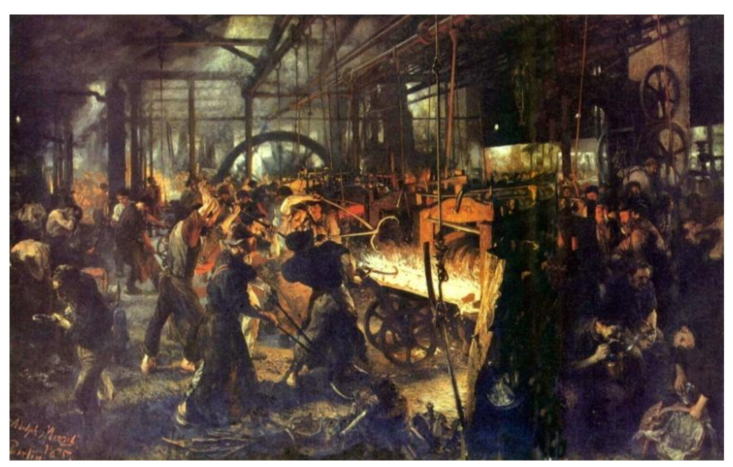


Figure 3: La Révolution industrielle (1780-1880) (Ph. Jean-Pierre Rioux)

C’est aussi l’occasion pour l’industrie du textile de découvrir une technologique importante. Dès la fin du XVIIIème, en Grande-Bretagne, diverses inventions permettent la mécanisation de la filature, puis du tissage, principalement du coton. C’est ainsi que, dans l'industrie textile, l'innovation est partie du tissage (avec la « navette volante » mise au point par John Kay vers 1730 et diffusée autour de 1760, améliorant beaucoup la productivité), puis est remontée vers la filature. Encore une fois c’est l'utilisation de la vapeur, via la machine mise au point par Watt entre 1765 et 1785, qui contribue à accroître la productivité de cette industrie.

Cette première révolution se traduit donc par un formidable essor de la production industrielle et des usines, supplantant les ateliers domestiques isolés. En effet, le développement des échanges commerciaux, l'expansion d'un capital commercial et financier et la concentration des activités industrielles, notamment près des gisements de matières premières n’a fait que creuser cet écart.

1.1.2 2ème révolution industrielle, l’électricité & le pétrole

La deuxième révolution industrielle repose sur l'utilisation de nouvelles sources d'énergie. Bien sur l'électricité, (dont l'usage commence à se répandre dans les années 1880) mais également le gaz et le pétrole. L'acier l'emporte sur le fer, tandis que se développe la chimie de synthèse, productrice de colorants, de textiles artificiels et d'engrais. De nouvelles inventions transforment la vie quotidienne (bicyclette, téléphone, lampe à incandescence d'Edison). Puis c’est au tour de l'automobile et de l'avion de révolutionner les moyens de transport au début du XXème siècle. Cette période correspond également à la confirmation de la « grande usine » comme modèle d'organisation productive, à l'approfondissement de la division du travail et au tournant taylorien des sociétés occidentales aux alentours de la Première Guerre mondiale.

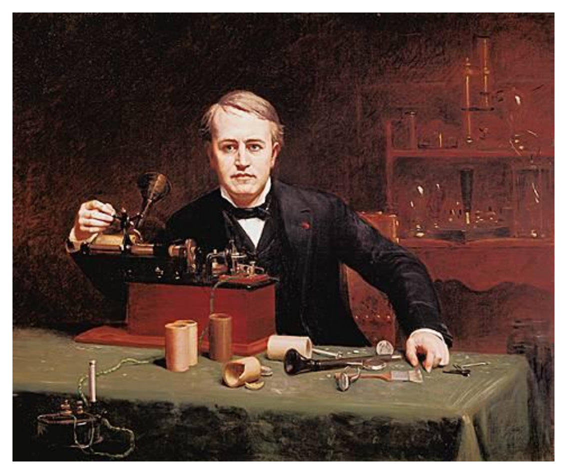


Figure 4: Thomas Edison (Ph. J. Martin / archive Larbor)

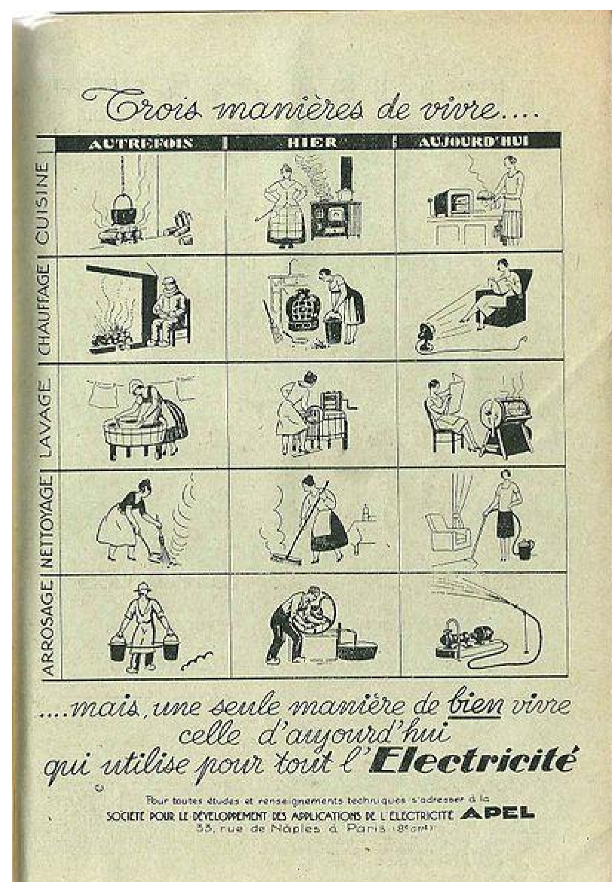


Figure 5 : Publicité pour l'usage domestique de l'électricité (1932, éditions La Terre nationale)

L'électricité, au terme d'un long processus de découvertes scientifiques (pile de Volta en 1800, lois d'Ampère et de Faraday dans les années 1820) et d'inventions d'autodidactes (dynamo de Gramme, 1871; lampe d'Edison, 1879), devient la base d'un nouveau système technique affectant aussi bien la vie quotidienne que les données du travail industriel. Les premiers réseaux d'éclairage public (à partir de 1880 aux États-Unis) et de distribution font de la « fée électricité » le symbole de toute une époque, célébré par les expositions universelles de la fin du siècle. Les retombées industrielles de l'électricité se révèlent plus importantes encore, après que sont résolus les problèmes de transport du courant (mise au point du transformateur vers 1890 ; premières lignes à haute tension en 1908). L'innovation clé est le moteur électrique, mis au point vers 1880 : il ouvre la possibilité d'une alimentation individuelle de chaque machine dans une usine, là où tout était relié, auparavant, à la machine à vapeur centrale par un système de transmission complexe et coûteux.

La dynamique de l'innovation, dans le dernier quart du XIXème, touche d'abord les anciens secteurs et en premier lieu la sidérurgie, à la fin des années 1870. Le résultat le plus sensible est la diminution considérable du prix de revient des aciers (de 100 à 12 dollars la tonne de 1870 à 1900), tandis que les progrès scientifiques engagent la sidérurgie dans l'ère des alliages (au tungstène ou au chrome, expérimentés dès les années 1860) et des aciers spéciaux, grâce aux applications de l'électricité (fours à arc, électrolyse).

Ainsi, tout concourt à alimenter une demande à la fois plus abondante et plus variée à mesure que s'élargissent les débouchés de la métallurgie : le bâtiment, avec l'essor de la construction en hauteur aux États-Unis (premiers gratte-ciel à infrastructure métallique à partir de 1890), la construction navale, bientôt l'automobile (années 1900) et enfin l'aéronautique (pendant et après la guerre de 1914-1918).

La première standardisation du produit automobile et la première production de masse sont réalisées aux États-Unis, chez Ford, peu avant 1913. Tributaire des travaux de Frederick W. Taylor commencés en 1905 et publiés en 1911 (The Principles of Scientific Management), cette expérience pionnière affecte le rendement du travail humain (parcellisation des tâches, chronométrage des gestes visant à maximiser leur efficacité, introduction de la chaîne de montage) ainsi que la répartition des pouvoirs dans l'entreprise et les relations de l'industrie avec ses marchés.

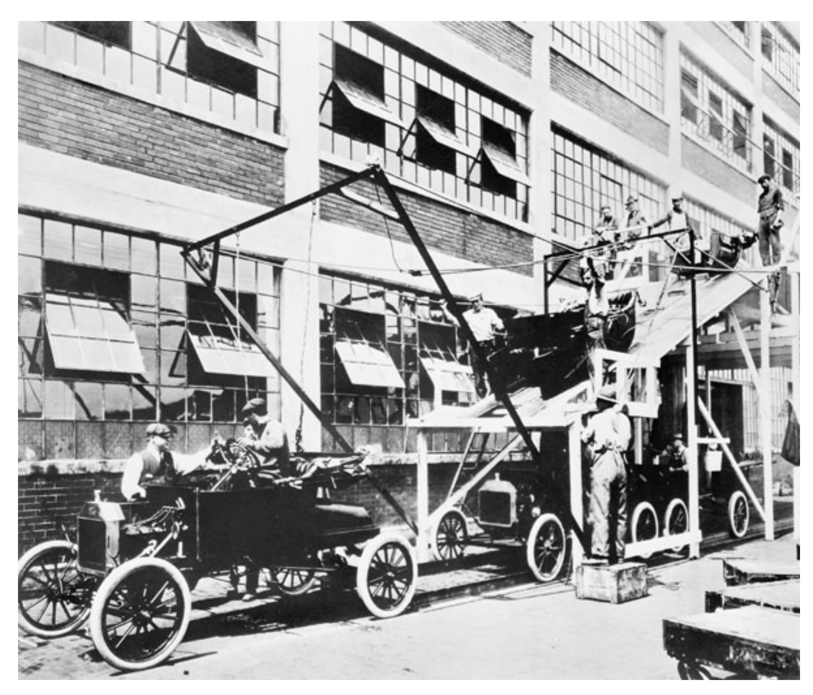


Figure 6: Chaine de montage de la Ford T (National Archives, Detroit, 1913)

Par cette organisation du travail, le montage à la chaîne réduit le temps de construction de son modèle Ford T de 6 heures à 1 heure 30. L'ouvrier devient statique et assemble les pièces qui défilent devant lui. Grâce à la standardisation, la diminution des coûts et la banalisation du produit, plus de 15 millions de Ford T ont été vendues.

1.1.3 3ème révolution industrielle, le Numérique

Une troisième révolution se produit au milieu du XXème vient de l'électronique, des télécommunications, de l'informatique, de l'audiovisuel et du nucléaire. Ces derniers rendent possibles la production de matériels miniaturisés, de robots et l'automatisation poussée de la production, le développement des technologies spatiales et celui des biotechnologies. Partie des États-Unis, puis du Japon mais aussi de l'Union européenne, la troisième révolution industrielle a vu naître également Internet à la fin du XXème siècle.

Internet est d'abord un outil. Il faut remonter à la fin des années 1950 pour voir apparaître les premières versions mettant en place ses idées. Mais l'application concrète d'Internet ainsi que sa popularisation débute dans les années 90. Si aujourd'hui Internet se développe de façon exponentielle, c'est que nos sociétés attendaient cet outil. Les firmes qui se sont internationalisées attendaient des moyens pour communiquer plus facilement et plus rapidement avec leurs filiales, leurs commerçants, leurs clients et leurs fournisseurs. De leur côté, de nombreux consommateurs, de plus en plus familiarisés avec l'informatique, attendaient eux aussi des moyens pour choisir, agir et émettre eux-mêmes des messages. Ainsi sans Internet, la 3ème révolution industrielle n'aurait pas pu être possible.



Figure 7 : Microprocesseur
(Ph. Lyracom Technologie)

L'électronique est également un pilier important. Il faut savoir que le véritable démarrage de l'électronique miniature date de l'arrivée du transistor et des circuits intégrés dans les années 50, permettant de remplacer les tubes à vide. Cette clé de voute est à l'origine du microprocesseur, pièce maîtresse de tous les produits électroniques dits intelligents. Bien que n'utilisant pas encore la technologie du transistor, le premier ordinateur ENIAC (en 1946) permis de faire des avancées très importantes, et permis, un peu plus tard l'invention de l'ordinateur personnel popularisé par l'Altair 8800 en 1975. Cette technologie sera très vite intégrée à l'industrie et notamment utilisée pour la conception d'automate et robot.

En effet les deux produits qui ont particulièrement impacté la production industrielle sont l'automate et le robot. Inventé en 1968 par l'Américain Richard Morley, l'automate programmable industriel (API) est un type particulier d'ordinateur, robuste et réactif, ayant des entrées et des sorties physiques, utilisé pour automatiser des processus comme la commande des machines sur une ligne de montage dans une usine, ou le pilotage de systèmes de manutention automatique. Là où les systèmes automatisés plus anciens employaient des centaines ou des milliers de relais et de cames, un simple automate suffit désormais. Avec tous ces avantages, il s'est rapidement imposé dans toutes les industries, puis au fil du temps aux transports, à la gestion technique des bâtiments, etc.

C'est à George Devol, pionnier de la robotique, que l'on doit l'Unimate, considéré comme le premier robot industriel moderne. Ce dernier est destiné aux opérations de manutention, puis aux tâches de production : soudage, assemblage, etc. Le fabricant de voitures américain General Motors sera le premier à installer ce bras articulé dans l'une de ses usines en 1961. L'Unimate a alors pour tâche de se saisir des pièces de métal chaudes et de les empiler, une tâche particulièrement éprouvante pour les ouvriers. A cette époque, aucun ordinateur ne guide les mouvements de ce robot : ses instructions lui viennent d'un disque magnétique. Ce nouvel outil sera très utilisé dans le domaine industriel et notamment dans l'automobile



Figure 8 : UNIMATE, sur la chaîne d'assemblage de General Motors (Ph. GM, 1961)

.

1.2 Vers une Industrie 4.0

Après trois phases d'évolution majeures (machine à vapeur, électricité et automatisation), l'usine de demain sera donc numérique. « Avec les usines intelligentes et connectées, nous sommes en train de vivre un changement de paradigme aussi important que celui de la chaîne de production d'Henry Ford » affirme Stephan Biller, directeur scientifique de la recherche chez General Electric. Cependant, au delà des avancées technologiques et organisationnelles, peut-on parler réellement de révolution industrielle ?

1.2.1 Révolution ou simple évolution technologique ?

On l'appelle déjà « industrie intelligente » ou encore « usine numérique » mais qu'en est-il réellement ? Peut-on parler de 4ème révolution industrielle ou de simples avancées technologiques et organisationnelles ? Les articles abordant ce sujet sont nombreux et des entreprises comme Dassault System réfléchissent déjà à l'usine du futur. Romain Lavault, vice-président du développement stratégique chez Delmia (Dassault Systèmes), développe une vision de l'usine du futur sur le fond, avec quatre axes principaux de développement :

- **la modification de la place de l'homme dans l'usine de demain**, où il sera utile pour les tâches compliquées et interagira avec son produit par interface numérique et plus par contact direct
- **la réutilisation des matières premières déjà produites par l'usine** pour éviter l'épuisement des ressources naturelles
- **l'invention de nouveaux process** en s'inspirant de la nature
- **l'intégration du consommateur** dans le processus de production par le biais des réseaux sociaux pour réinventer les produits de demain.

De nombreuses entreprises comme Cisco, IBM, Intel aux Etats-Unis, Siemens en Allemagne, des start-up et des laboratoires français, semblent d'accord sur un point : l'usine du futur est un centre de production industriel muni d'unités flexibles, entièrement automatisées et totalement interconnectées.

Les composants de ces unités communiquent à travers un bus ou d'autre système de communication. Cette communication, c'est le point central de l'Industrie 4.0. Le produit fini, qui sera personnalisé, pourra aussi communiquer avec les machines dans sa phase de réalisation. On parle alors de « Smart Product ».

Le cycle de production, quel qu'il soit, sera préalablement scénarisé, depuis l'introduction de la matière à jusqu'à son emballage et son stockage. Une fois le scénario défini, ce dernier pilotera, en quelque sorte, la fabrication en fonction du client destinataire et sera capable de personnaliser le produit comme la taille, la couleur, le type d'emballage, etc.

La chaîne logistique pourra également être prise en compte, en amont et en aval, du cycle de production. Enfin, ce n'est pas la vocation première d'industrie 4.0 mais le produit pourra, plus tard, être tracé. Cela implique un système de communication efficace entre les différents modules, de la prise de commande à la livraison. Tout est réalisé de A à Z, sans intervention humaine, en interaction entre les produits et les machines, et les machines entre elles. C'est un système global interconnecté.

Dans le monde 3.0, les machines automatisées ne communiquent pas encore entre elles. Dans l'usine 4.0, elles communiqueront entre elle. Aussi surprenant que cela puisse paraître, les principales briques technologiques qui assureront la transformation de l'industrie 3.0 en Industrie 4.0, telle que présentée ci-dessus, existent déjà : capteurs, automates, CFAO (conception et fabrication assistée par ordinateur), Internet des objets, Cloud Computing… On peut donc supposer que cette révolution ne sera pas technologique mais le mode de production qui en résultera sera en totale rupture avec l'existant. Là se trouve la vraie révolution.

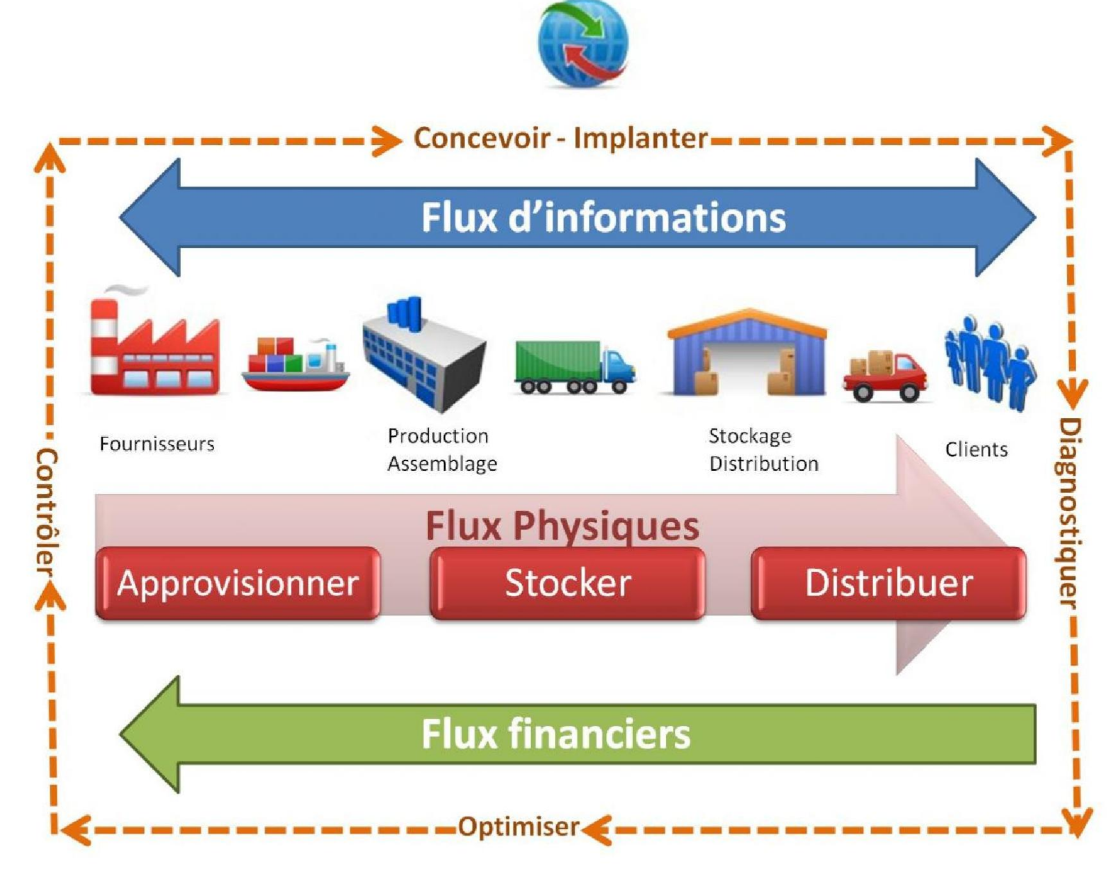


Figure 9: Les flux au sein d'une entreprise (illustration Usine nouvelle)

1.2.2 Accompagner le passage vers l'usine de demain

Bien évidemment, cette transition se fera sur une vingtaine d'années et devra être évidemment accompagnée. Quoi qu'il en soit, des conditions devront préalablement être remplies pour passer à l'industrie 4.0. Elles sont d'ordre technologique et organisationnel.

Au niveau technique, il faut savoir que les technologies indispensables au passage de la 3.0 à la 4.0 sont déjà là. Ce qui importe dorénavant, c'est la capacité des industriels de métiers différents (automaticiens et informaticiens, par exemple) à faire communiquer leurs outils de façon intelligible et simple.

La standardisation jouera donc un rôle important. Bien sûr, si une entreprise possède une seule ligne de production, l'investissement qui mène au 4.0 n'est pas pertinent car très lourd. En revanche, si une entreprise possède six lignes de production, l'investissement devient intéressant pour optimiser le site industriel.

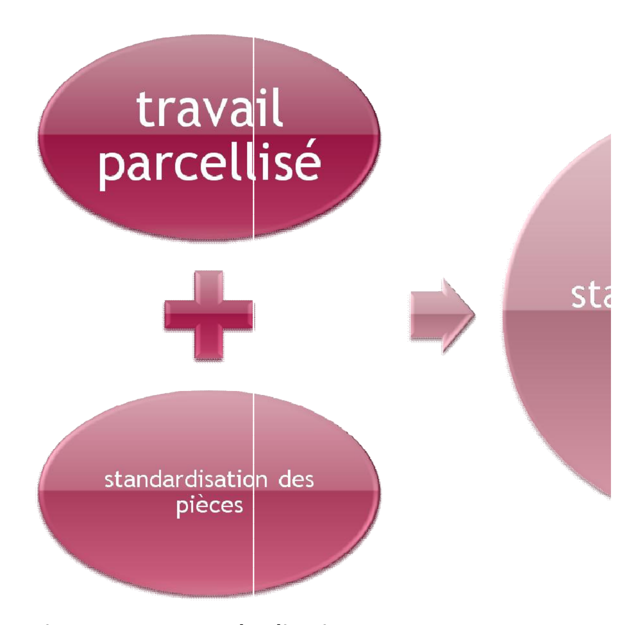


Figure 10 : La standardisation

De plus il faudra que l'entreprise concernée adopte une organisation interdisciplinaire. Cela imposera un travail collaboratif entre automaticiens et professionnels des technologies de l'information. Ces derniers devront faire converger leurs produits, leurs outils et leurs métiers. Les équipes de mécaniciens, d'automaticiens, d'informaticiens… devront collaborer entre elles en étant organisées par projet.

Pour piloter finement les ateliers, il faudra donner du sens à un grand nombre d'informations présentes dans les machines et les différents systèmes de production et d'exploitation. Si l'on n'est pas vigilant, on pourra très vite se noyer sous cette masse de données. La solution passe d'abord par la convergence de ces informations. Cette convergence ne peut se faire sans la simulation de différents scénarios potentiels qui peuvent se produire sur une ligne de production ou une machine.

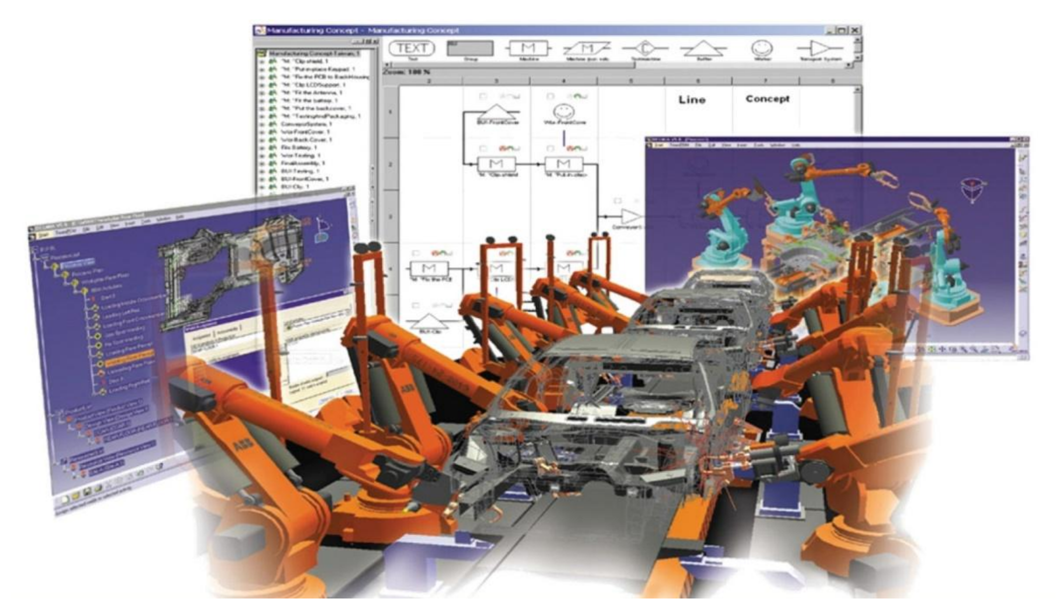


Figure 11 : Un exemple de simulation de ligne de production (Ph. DELMIA)

Les produits et services deviendront indissociables. Prenons l'exemple d'un spécialiste de la gestion de l'énergie. Son organisation et ses processus évolueront : par exemple, au lieu de vendre un composant pour la protection contre les interruptions d'alimentation électrique, ses équipes proposeront une solution complète pour la gestion de l'énergie d'une installation, c'est-à-dire un contrat de gestion du composant associé à un service qui comprend le maintien en condition opérationnelle des installations. Le suivi des produits et le service client deviendront une composante indispensable.

1.3 Le Fab Lab, espace d'innovation

Si l'usine du futur correspond à l'aménagement de l'industrie existante par le biais de nouvelles technologies et d'organisation, on peut également la concevoir comme étant un vaste réseau communautaire où particuliers et professionnels échangerons dans des lieux d'échange et de fabrication appelés Fab Labs. Déjà populaires aux Etats-Unis, ces ateliers prônent le « Do It Yourself ». À terme, on peut se demander si l'accès aux machines outils pour le plus grand nombre permettrait une démocratisation de la fabrication personnelle et redéfinir ainsi un nouveau monde industriel.

1.3.1 Un nouveau concept en vogue

Un Fab Lab (abréviation de Fabrication laboratory) est un atelier de fabrication collaboratif et numérique permettant de créer des objets et prototypes rapidement. Il s'adresse aux entrepreneurs qui veulent passer plus vite du concept au prototype, aux designers, aux artistes et aux étudiants désireux d'expérimenter et d'enrichir leurs connaissances pratiques en électronique, en CFAO, en design, aux bricoleurs du XXIème. Il s'inscrit dans un réseau mondial d'une centaine de Fab Labs, des Etats-Unis à l'Afghanistan, de la Norvège au Ghana, du Costa Rica aux Pays-Bas.

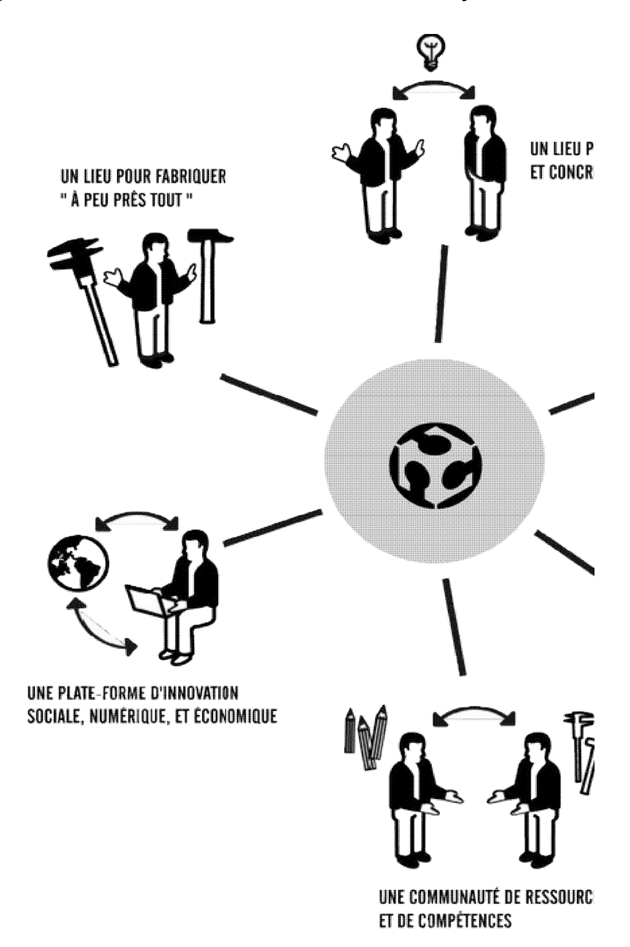


Figure 12 : Le Fab Lab, mode d'emploi (Illustration JokkoLabs)

Dans un FabLab, on peut réparer, détourner, hacker, fabriquer, monter ou démonter un dispositif technique de toute pièce. L'enjeu est de promouvoir l'invention, la créativité et l'esprit d'initiative, en donnant des moyens technologiques à des citoyens-amateurs. Véritable atelier "open-source", le FabLab est ouvert à tous, et met en valeur le partage de connaissances et la collaboration

Un Fab Lab regroupe un ensemble de machines à commande numérique de niveau professionnel : une machine à découpe laser capable de produire des structure en 2D et 3D, une machine à sérigraphie qui fabrique des antennes et des circuits flexibles, une fraiseuse à haute résolution pour fabriquer des circuits imprimés et des moules, une autre plus importante pour créer des pièces volumineuses.

On y trouve également des composants électroniques standards, ainsi que des outils de programmation associés à des microcontrôleurs ouverts, peu coûteux et performants. L'ensemble de ces dispositifs est contrôlé à l'aide de logiciels communs de conception et fabrication assistés par ordinateur. D'autres équipements plus avancés, tels que des imprimantes 3D, peuvent également équiper certains Fab Labs.

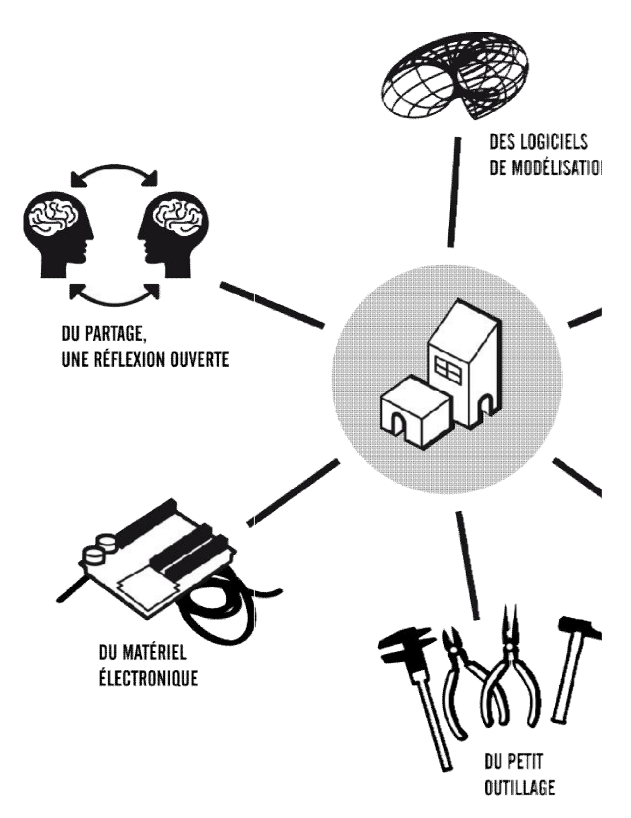


Figure 13 : Le Fab Lab, mode d'emploi (Illustration JokkoLabs)

Le premier Fab Lab voit le jour au MIT et a pour objectif de s'intéresser à la suite de la révolution numérique et, en particulier, la fabrication numérique dont les évolutions pourraient à terme produire des outils capables d'assembler la matière au niveau atomique. Les Fab Labs sont les acteurs éducatifs de sensibilisation à la fabrication numérique et personnelle. Il s'agit de démocratiser la conception des technologies et des techniques et non pas seulement de les consommer. À l'exemple du web collaboratif 2.0 qui a démocratisé les outils de partage, d'édition et de création et permis à des millions d'utilisateurs de devenir acteurs, les Fab Labs doivent permettre au plus grand nombre de devenir auteur des technologies.



Figure 14 : Les Fab Labs à travers le monde (Illustration JokkoLabs)

1.3.2 Vers une démocratisation de la fabrication personnelle ?

La fabrication numérique permet de créer une chaine intégrée de la conception à la production. Cette chaine passe par l'utilisation de logiciel de CAO (conception assistée par ordinateur), de FAO (fabrication assistée par ordinateur) et par l'interprétation de ces plans par des machines à commande numérique. Ce n'est pas un processus récent, Neil Gershenfeld (l'inventeur du concept Fab Lab) rappelle que la connexion d'un ordinateur à une machine a été réalisée dans les années 50 au MIT. Les grandes industries utilisent ce processus sur des chaines de montage depuis des années. Les centres de mécatronique (comme à l'INSA de Rennes) permettant d'aider les entreprises à réaliser du prototypage rapide sont nombreux.

Ce que changent les Fab Labs dans le paysage de l'innovation, est la possibilité offerte au public de s'approprier la fabrication numérique personnelle. Dans ces lieux, les utilisateurs peuvent assez rapidement passer d'une idée à sa conception via des logiciels de CAO et en réaliser un premier prototype.

De nombreux utilisateurs affirment que le Fab Lab leur permet d'estimer la faisabilité d'un projet rapidement et surtout de pouvoir présenter à des investisseurs potentiels une première maquette fonctionnelle. Les prototypes peuvent ensuite être affinés dans des centres professionnels de mécatronique, par exemple.

Cette communauté d'entrepreneurs, de particuliers, de designers et d'étudiants va animer le lieu, lui apporter des compétences, des savoir faire et des pratiques innovantes. Les opérateurs des lieux la stimulent avec des concours, avec des projets transdisciplinaires, des présentations dédiées, des formations etc. Au-delà des machines nécessaires, c'est bien cette communauté qui va faire le lieu et créer un terreau fertile pour l'innovation.



Figure 15 : Neil Gershenfeld (Inventeur du concept Fab Lab) **(Ph. Bill Cramer)**

Aujourd'hui, les Fab Labs sont probablement la première pierre qui permet de démocratiser la « fabrication personnelle ». Ce processus se rapproche de l'artisanat et de nombreux utilisateurs de ces lieux pensent par ailleurs que les Fab Labs sont les ateliers ouverts du XXI siècle. Cependant ils restent donc en amont de la chaine de production. S'ils permettent de réaliser un prototype, ils ne sont pas adaptés à la production (on peut y réaliser une petite série, mais sans trop mobiliser les différentes machines) ni à la distribution. Leur souplesse, l'accès modique en font de véritable plate-forme d'innovation, abaissant grandement les barrières à l'innovation.

2. Une refonte technologique et logistique

2.1 Des outils au service de l'Industrie

2.1.1 L’imprimante 3D

Le concept & origine

L’impression 3D est une technique de fabrication additive développée pour le prototypage rapide. Elle permet de produire un objet réel à partir d’un fichier contenant le modèle de l'objet en trois dimensions. On parle aussi d'impression tridimensionnelle. Tout comme l'impression en deux dimensions, on trouve plusieurs méthodes qui permettent d'obtenir le résultat escompté. Quant au modèle 3D requis, il peut être obtenu dans une banque de modèles sur internet ou en utilisant un logiciel de CAO.

Les imprimantes 3D fonctionnent comme leurs homologues bidimensionnels. À la place de l'encre, l'imprimante dépose la matière couche par couche afin de créer un objet physique. En 1984, l'américain Charles Hull, co-fondateur de 3D Systems, invente la stéréolithographie, une méthode d'impression en trois dimensions. La première machine utilisant ce procédé est produite en 1992 par 3D Systems. Cette machine utilisait des Uvs pour solidifier un photopolymère, un liquide dont la viscosité et la couleur est proche du miel. Bien qu'imparfaite, elle prouva qu'il est possible de créer des éléments complexes rapidement.

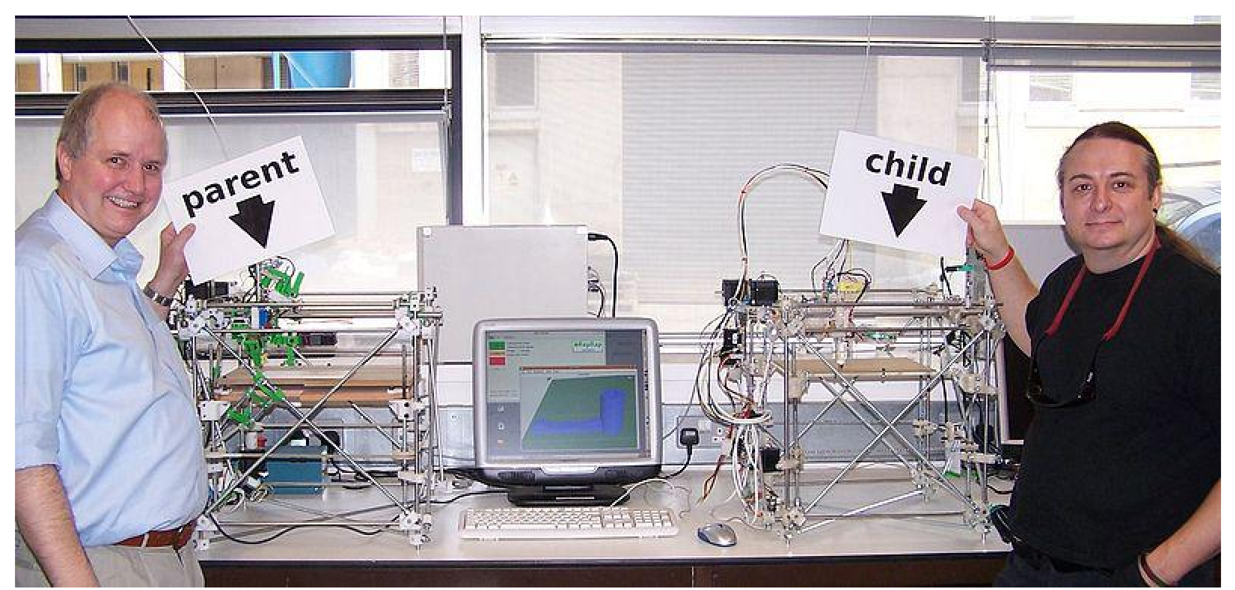


Figure 16 : Les membres du projet RepRap Adrian Bowyer (à gauche) et Vik Olliver (à droite) aux côtés de deux imprimantes RepRap **(Ph. Alex Girard)**

En 1999, l'idée d'utiliser des organes imprimés émerge après la transplantation du premier organe créé en laboratoire. Il s'agit de la première incursion de cette technologie dans le domaine médical, qui sera suivi de l'utilisation d'une prothèse de jambe complète, imprimé en 3D, en 2008. Les innovations se succèdent à un rythme effréné dès 2005, lorsque la RepRap, une imprimante 3D open source qui peut imprimer la plupart de ses composants, voit le jour.

Les techniques

Il existe trois types d'impression 3D à l'heure actuelle.

- **Le modelage par dépôt de matière en fusion** : cette technique consiste à faire fondre un filament de matière synthétique (généralement du plastique type ABS ou PLA) à travers une buse chauffée à une température variant entre 160 et 270 °C . Un petit fil de plastique en fusion, d'un diamètre de l'ordre du dixième de millimètre, en sort. Ce fil est déposé en ligne et vient se coller par re-fusion sur ce qui a été déposé au préalable. Le fused deposition Modeling (modelage par dépôt de matière en fusion) est une marque déposée par l'inventeur de la technologie de dépôt de filament en fusion, Stratasys.

- **La stéréolithographie** : cette technique utilise en général une résine spéciale sensible au traitement ultra violet. À la fin de chaque couche 2D, une lampe ultra-violette traite la résine qui durcit. Il s'agit de la première technologie d'impression 3D mise au point.

- **Le frittage sélectif par laser** : un laser puissant solidifie localement une surface de poudre et l'agglomère aux couches précédentes par frittage. Une nouvelle couche de poudre est ensuite étalée et le processus recommence. Il existe d'autres techniques, comme la fabrication additive avec de la poudre de métal, la pâte à base d'algue et de plastique (utilisé par le Fab Shop de St-Malp, en Bretagne), le papier, etc.

Bien que le marché de l'impression 3D s'agrandisse de jour en jour, les acteurs à l'origine de ce phénomène sont pour la plupart américain. En plus de 3D Systems, les pionniers de ce domaine, on trouve aussi Stratasys, ayant mis au point le modelage par dépôt de matière en fusion, ainsi que le célèbre MakerBot. Le leader actuel du marché industriel de l'impression 3D est sans conteste Stratasys, Leur modèles d'imprimante sont essentiellement tournés vers les professionnels et l'industrie.

Leur principal adversaire est 3D Systems. Toutefois, leur gamme est équilibré entre les modèles destinés aux professionnels et ceux qui ciblent les amateurs. MakerBot inscrit clairement sa gamme dans cette deuxième catégorie avec des modèles moins coûteux et plus compact, mais conservant une qualité d'impression élevée.



Figure 18: Fortus 900mc de Stratasys (Ph Stratasys)

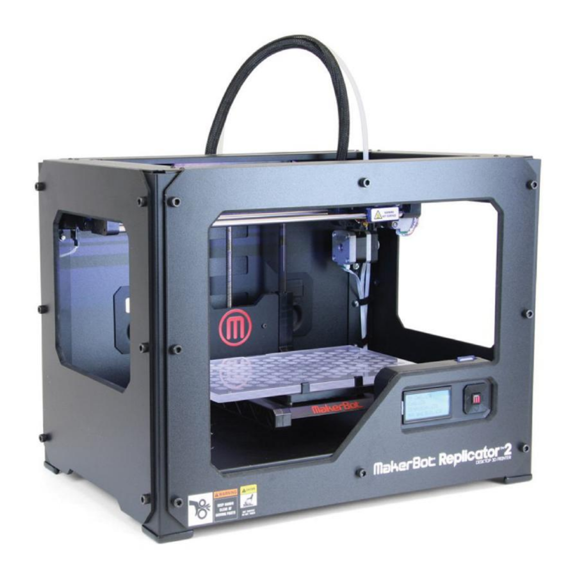


Figure 17 : Replicator2 de MakerBot (Ph MakerBot)

L'utilisation de l'impression 3D dans l'industrie du futur est évidente. Néanmoins, tous les acteurs industriels n'utilisent pas ce formidable outil pour les mêmes raisons.

La création de prototype, ou prototypage, est une des raisons d'être principale de l'imprimante 3D. Un prototype permet aux personnes concevant des produits (les ingénieurs) de déceler des défauts rapidement. Imprimer un prototype diminue son temps de création comparé à un usinage conventionnel. Avant, il fallait le faire usiner ou mouler, ce qui est particulièrement chronophage. L'accès à une imprimante 3D dans un bureau d'étude simplifie donc le travail des ingénieurs.

Ce concept est très utilisé en aéronautique depuis peu, mais pour des pièces finies cette fois. Imprimer des pièces métalliques complexes en 3D, comme celles des moteurs, permet notamment de diminuer leur poids et leur consommation en carburant et donc d'augmenter leur efficacité.

On trouve aussi des applications en médecine (prothèses, organes), en joaillerie, en archéologie, etc. Plus généralement, l'impression 3D peut remplacer les chaînes d'usinage traditionnel pour des séries d'objets limitées.

2.1.2 Des logiciels toujours plus efficaces

Suivant l'exemple des machines, les logiciels industriels évoluent rapidement. On trouve deux grandes familles de logiciels utilisés dans l'industrie.

- **Les logiciels propriétaires** : Parfois appelés logiciels non-libres, car leur duplication, modification ou usage sont limités. Un des fournisseurs de logiciels propriétaires le plus connu est Microsoft, qui fournit le système d'exploitation Windows et la suite bureautique Microsoft Office. Ces logiciels sont très utilisés aussi bien par les particuliers (Windows représente 74,3 %1 des systèmes d'exploitation) que par les industriels, notamment Word et Excel. Le principal intérêt d'un logiciel propriétaire est qu'il n'est pas utilisable sans licence payante. D'ailleurs, la plupart des logiciels propriétaires gratuits disposent de versions payantes offrant plus de fonctionnalités.

- **Les logiciels libres** : Un logiciel est dit libre quand son utilisation, son étude, sa modification et sa duplication en vue de sa diffusion sont permises, techniquement et légalement. Les logiciels libres constituent une alternative à ceux qui ne le sont pas, autrement dit les logiciels propriétaires. Il ne faut pas les confondre avec les gratuiciels (logiciels gratuits, freeware en anglais), qui ne sont pas forcément libres, et l'open source, qui n'est qu'un aspect technique (la mise a disposition du code source, sans license). Il n'est pas interdit de vendre un tel logiciel, seulement l'accès au code source par les utilisateurs rend la vente inutile, car rien n'empêche ceux-ci de compiler eux-mêmes le programme à partir de ces sources.

Ces outils de l'usine du futur

Un des prérequis de l'Industrie 4.0 est l'utilisation de logiciels performants prenant en compte toute la chaîne de production, de la partie recherche & développement jusqu'aux tests des produits finis en passant par la gestion des stocks de matières premières. L'agrégation de ces données est supposée améliorer les performances de la chaîne, par exemple en décelant des problèmes d'assemblage avant même le lancement de la production grâce à des simulations informatiques. Ces outils sont encore rares à l'heure actuelle.

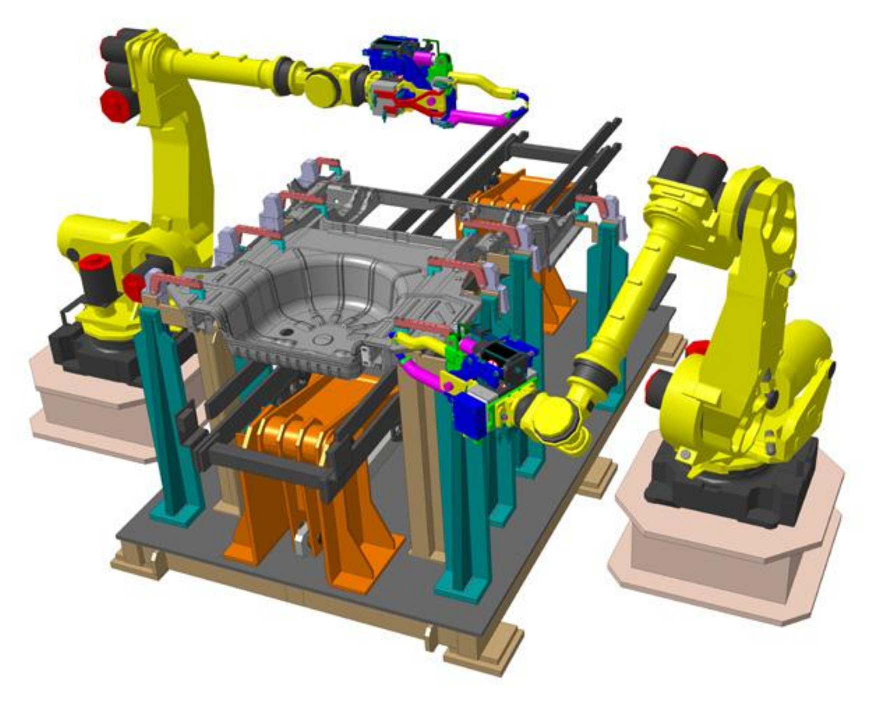


Figure 19 : Simulation d'une chaîne de montage avec Delmia (Ph. Dassault Systèmes)

Propriétaire ou libre ?

Chaque solution a ses avantages et ses inconvénients. Pour les producteurs de logiciels, la solution la plus simple est de rendre ses logiciels propriétaires. Il est alors possible de vendre des licences d'utilisation. A cela se rajoute la vente de services, comme la maintenance, la formation, etc. Produire des logiciels libres uniquement pour les vendre est difficilement envisageable. Seule la vente de services autour dudit logiciel permet un retour sur investissement. Il existe néanmoins des cas particuliers qui permettent le choix de cette option.

Quand un logiciel est développé pour un usage interne, le coût du développement est absorbé par les bénéfices de l'entreprise, et donc n'a pas besoin d'être vendu. Par exemple, EDF a développé de nombreux logiciels3 pour son propre usage et les diffuse sous licence libre. Cela permet de bénéficier du soutien de la communauté de développeurs de logiciels libres, ceci afin de déceler des erreurs dans le code source.

De plus, quand une entreprise vend des produits qui nécessitent l'utilisation d'un logiciel particulier, elle peut trouver un intérêt à distribuer ces logiciels sous une licence plus souple. Ici, la vente du matériel génère des bénéfices, et l'accès simplifié au logiciel peut servir d'argument commercial. Par exemple, l'entreprise italienne Arduino, qui vend des circuits imprimés, propose le logiciel de développement associé (lui aussi appelé Arduino) librement.

Ainsi, les développeurs de logiciels qui souhaitent un retour sur investissement utiliseront plutôt une licence propriétaire afin de rentabiliser le développement. Cela explique la rareté des logiciels industriels sous licence libre. Les entreprises sont donc parfois obligées de s’acquitter de licences aux prix exorbitants, faute d'alternative libre.
Parfois, un logiciel propriétaire peut utiliser certains éléments libres, ces notamment le cas de SolidWorks de Dassault Systèmes, dont le code source de certaines briques est disponible.

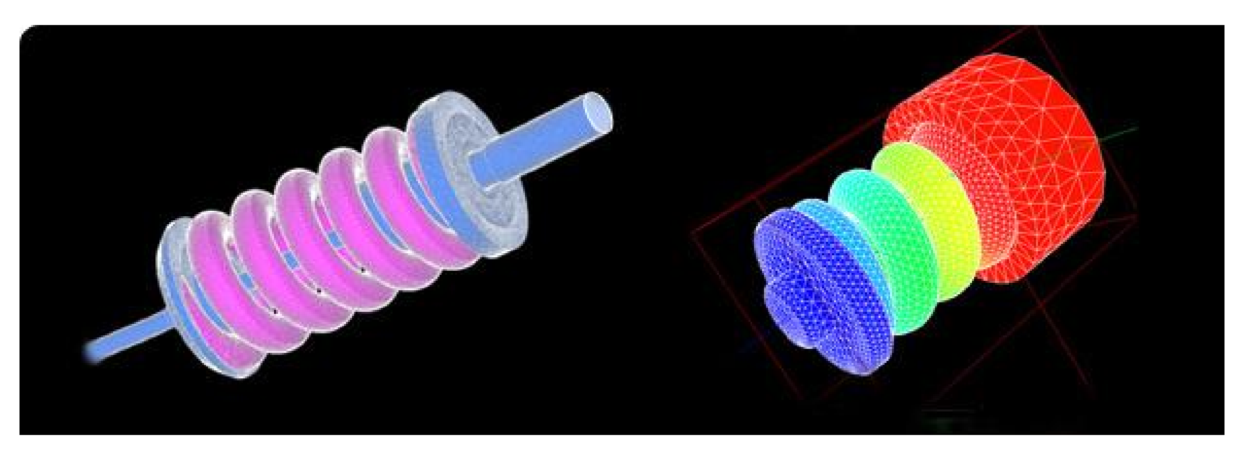


Figure 20 : Simulation avec le logiciel libre Code_Carmel3D (Ph EDF)

Le cas de l'informatique embarquée

Si la question de la licence se pose pour les postes de travail fixes, c’est beaucoup moins le cas pour l'électronique embarquée. Dans la majorité des cas, les systèmes embarqués utilisent un noyau Linux, qui est libre. Il présente l'avantage d'être très personnalisable, fonctionnant aussi bien sur des cartes électroniques minuscules que sur les supercalculateurs. Les entreprises fabriquant des robots, comme BA Systèmes, choisissent cette solution pour sa gratuité et le développement continu emmené par une importante communauté de développeurs.

2.1.4 Des robots prêts à servir cette nouvelle industrie

Si les robots existent déjà dans nos usines, la tendance montre une multiplication de ceux-ci, aussi bien dans leur domaine habituel qu'auprès des ouvriers.

La robotique dans l'industrie d'aujourd'hui

Actuellement, les robots industriels sont plus souvent des bras manipulateurs, fonctionnant sur plusieurs axes. On les imagine souvent sur des chaînes de montage de voitures, à assembler les pièces entre elles ou à peindre.



Figure 21 : Inauguration de Robofin à l'Institut de Recherche Technologique Jules Verne (Ph IRT Jules Verne)

Les robots sont principalement utilisés dans des environnements néfastes pour l'homme, comme les milieux nucléaires ou présentant de fortes corrosions. Par exemple, on les rencontrera prochainement dans le centre de stockage profond de déchets radioactifs Cigéo (Centre industriel de stockage géologique). Ils récupéreront les déchets à la surface et les déposeront dans les galeries souterraines.

Les robots aux côtés des ouvriers

Les technologies actuelles permettent d'attribuer de nouveaux rôles. Le robot Baxter de Rethink Robotics en est un bon exemple. Il est pensé pour être utilisé aux côtés d'un ouvrier. Cette personne, même sans connaissance en programmation, peut apprendre au robot les actions à effectuer sur la chaîne.

Il dispose de nombreux capteurs pour observer la chaîne et l'ouvrier. De plus, grâce à des capteurs de retour de force, il est capable de déterminer si son action est néfaste sur la chaîne ou l'ouvrier, ce qui rend très peu probable la possibilité que ce dernier soit blessé.

Il dispose d'un écran qui lui sert de visage. Les émotions affichées permettent aux personnes travaillant auprès de Baxter de connaître ses intentions. Bien que méfiants au début, la plupart des ouvriers s'habituent vite à la présence du robot, le trouvant même agréable.

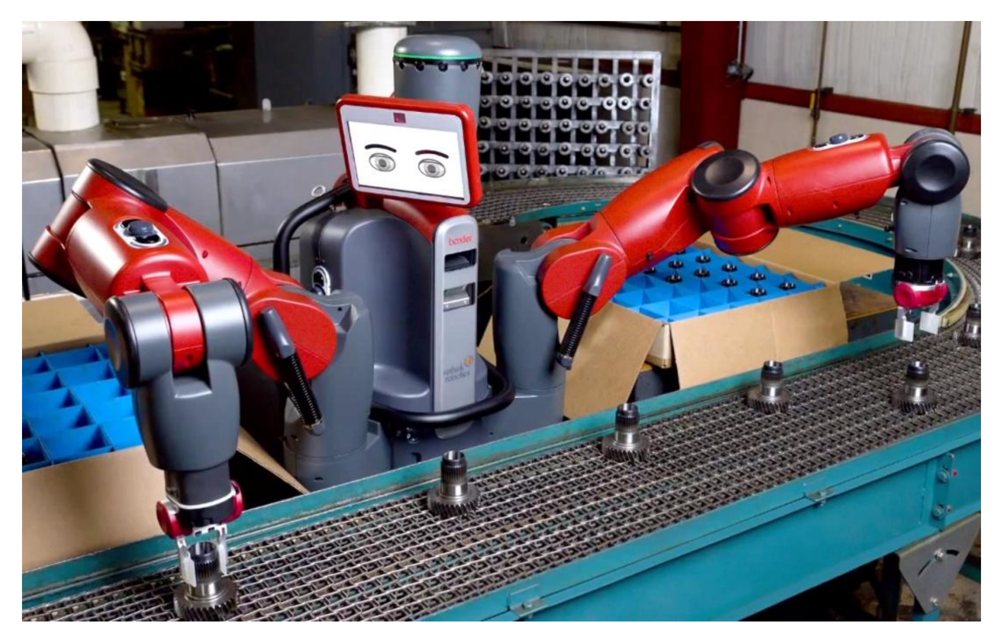


Figure 22: Le robot Baxter sur une chaîne de production (Ph Rethink Robotics)

On peut aussi prendre l'exemple des chariots automatiques de BA Systèmes. Ces robots sont en fait des chariots élévateurs automatisés, sans conducteurs. Ils sont utilisés pour remplacer les caristes pour les tâches simples et répétitives ou lors de production à flux constant. Ils sont aussi mis en œuvre dans les entrepôts frigorifiques, où le travail est plus pénible pour les ouvriers sur la durée. Les caristes travaillent à leur côté, les remplaçant en cas d'imprévu ou de pic de production.

Grâce à des systèmes de communications installés dans l'usine, les AGV Automated Guided Vehicles) envoient et reçoivent des informations de la supervision, permettant une gestion plus intelligente de l'usine.

L'usine automatique

L'utilisation poussée de la robotique, couplée à d'autres technologies permet la mise en place d'usines quasiment automatiques. C'est le cas d'un site de production de l'américain Plastic Components Inc. Inauguré en 2011. « Le site tourne 23,5h/24h avec 0 employé sur place. Une demi-heure par jour, des opérateurs arrivent sur le site pour changer les bacs de collecte de produits ou pour changer un moule. L'ensemble est supervisé à distance par le responsable de production qui peut à tout moment se connecter et communiquer avec le site. »

Dans cet exemple, les robots ont remplacés l'ouvrier dans l'usine. Il s'agit d'un cas rare, mais à terme il pourrait se généraliser.

3. Les enjeux et conséquences

3.1 L'enjeu économique

Un des principaux enjeux de l'usine du futur est bien sur l'aspect économique. En effet, dans cette partie, nous allons nous demander ce que l'usine du futur va apporter d'un point de vue économique puis, dans un second temps nous nous intéresserons aux clients et à ce qu'ils ont à y gagner.

3.1.1 Vis-à-vis de l'entreprise

Les usines du futur ainsi que leurs produits seront remplis de capteurs, ainsi l'usine sera en permanence connectée au produit qu'elle aura fabriqué. Les retombées sont de deux ordres : l'amélioration de la maintenance de l'outil de production et des machines fabriquées, mais aussi l'amélioration des objets produits.

De plus, à moyen terme, les projets les plus ambitieux veulent associer, dans une seule boucle numérique, toutes les informations « produites » par les spécialistes de l'ingénierie des usines.



Figure 23: Maillage horizontal de communication inter-entreprise (Illustration Gimelec)

Les concepteurs des produits fabriqués, le personnel de production, les sous-traitants, les transporteurs, les consommateurs, les organismes de récupération… Tous les acteurs impliqués dans le cycle de vie d'un produit participeront à son amélioration, mais aussi à celle de l'usine d'où il sort. En effet, tous ces acteurs étant connectés, ils pourront échanger plus rapidement leur retour d'expérience ou leurs remarques, ce qui aura également pour effet, de réduire les délais de production d'un nouveau produit.

De plus, ces données pourront servir à bien d'autre choses pour améliorer la qualité des produits, grâce à toutes les informations recueillis par les capteurs, on pourra par exemple, déterminer avec beaucoup plus de précision les meilleures localisations des nouvelles usines en fonction des conditions climatiques, des coûts d'approvisionnement ou de livraison, des habitudes de consommation etc.

Ce n'est pas le seul avantage de l'usine 4.0 car elle va aussi permettre d'adapter l'outil productif au vieillissement de la population active. En effet, la quasi-totalité des pays européens ont fini leur transition démographique, ce qui signifie que 3 personnes sur 10 auront plus de 65 ans en 2050. Prenons pour exemple l'Allemagne, face au vieillissement de sa population active, dont l'âge moyen va bientôt dépasser la cinquantaine d'années, l'Allemagne doit agir pour ne pas perdre des pans entiers de son capital industriel.

Pour que les quinquagénaires restent compétitifs, l'usine 4.0 va leur faciliter le travail en automatisant le maximum de tâches, en multipliant les robots de manutention et de fabrication, au cœur du processus productif et à sa périphérie (manipulation des matières premières et des produits finis en bout de chaîne)…L'âge de la retraite à 67 ans en Allemagne, pousse également à la transformation radicale des processus productifs.

D'un point de vue plus global, le passage de l'industrie en Europe vers l'industrie 4.0 devrait comme l'a déclaré Antonio Tajani, Vice-Président de la Commission Européenne et Commissaire en charge de l'Industrie et l'Entreprenariat, en septembre 2013, donner un nouvel élan à l'industrialisation de l'Europe et, le PIB pour la production devrait passer de 15.2% à 20% en 2020.

Toujours selon Antonio Tajani, ces objectifs pourront être atteins à condition d'investir nos moyens de financements dans des projets qui amènent à une relance et à une modernisation des moyens de production en Europe.



Figure 24: Antonio Tajani Vice-Président de la Commission Européenne et Commissaire en charge de l'Industrie et l'Entreprenariat (Ph. CoopsEurope)

3.1.2 Vis-à-vis du client

Désormais, les entreprises s'intéressent à l'analyse prédictive opérationnelle, c'est une technique qui consiste à analyser des faits présents et passés afin de faire des hypothèses prédictives sur des évènements du future. Avec l'usine 4.0 et la multiplication des capteurs sur les produits et machines, cette technique pourra être encore plus poussée.

En effet, l'entreprise pourra déterminer d'autres paramètres capitaux comme par exemple: quelle est la probabilité que, dans mon usine, telle machine-outil tombe en panne, en fonction des paramètres recueillis par les capteurs ? Quelle est la probabilité qu'il faille changer les pales de telle turbine, que j'ai livrée à tel endroit du monde et dont les capteurs renvoient taux de vibration ou température ? Intervenir en prévention permet de planifier la maintenance pour que la production en souffre le moins, d'éviter les pannes et donc les pertes financières liées à toute interruption prolongée d'une chaîne de fabrication. Chez le client, cela permet d'augmenter le taux de disponibilité du matériel, mais aussi de préacheminer les pièces de rechange nécessaires et d'éviter ainsi des livraisons en urgence.

De plus, grâce au fait que l'usine est totalement informatisée, les entreprises peuvent en profiter pour avoir un pilotage plus direct du marketing par le consommateur. Beaucoup d'entreprises sont déjà dans cette démarche : Nike, New Balance et d'autres entreprises, par exemple, permettent aux consommateurs de personnaliser leur commande par Internet, en choisissant un modèle à partir de plusieurs dizaines d'éléments : semelles, tiges, maintiens latéraux, décorations, couleurs, etc. Nike donne la possibilité d'y accoler aussi ses initiales. De leur côté, Nike et New Balance obtiennent les coordonnées des clients, connaissent mieux leurs goûts et grossissent leur marge. En effet, ce type de chaussures est vendu en moyenne 25 % plus cher que les modèles équivalents. Cerise sur le gâteau : ils les fidélisent par la suite grâce à la création d'un lien virtuel, qui peut se transformer en lien affectif.

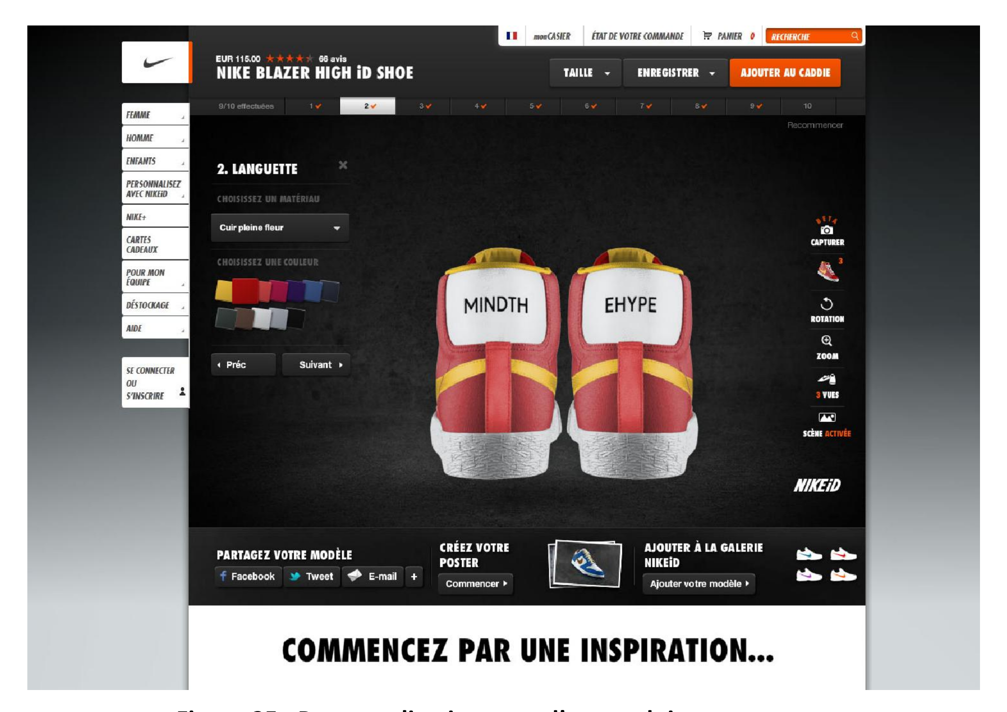


Figure 25 : Personnalisation type d'un produit (Ph. Nike)

3.2 L'enjeu énergétique & écologique

Toute l''industrie est extrêmement énergivore. Les usines nécessitent des quantités d'énergie très importante, Amory Lovins, théoricien de l'énergie, parle d'une révolution énergétique. Notre source d'énergie principale, basée entre autres sur le pétrole, n'est plus un modèle valable, pour relever les défis de demain. C'est pourquoi, on commence à parler d'une révolution énergétique, directement lié à l'usine du futur.

L'usine du futur sera écologique, elle économisera à la fois l'énergie et la matière première (en réduisant notamment les déchets de fabrication). Plusieurs exemples montrent que ce côté écologique intéresse beaucoup les entreprises :

- Fives, un groupe d'ingénierie industrielle a conçu un four de sidérurgie qui limite son impact écologique. Un producteur d'acier s'est montré très intéressé et à passer commande. Cela lui permettra de réduire au quotidien sa consommation énergétique et donc ses coûts de fabrication.

- Ecover a ouvert une usine verte dans le Boulonnais. L'usine a été conçue avec des matériaux respectueux de l'environnement et de manière à réduire au maximum l'impact sur l'environnement. Les installations de remplissage n'ont pas besoin d'eau pour être nettoyées. L'eau de pluie est récupérée et utilisée dans les espaces de lavage et les toilettes de l'usine. La toiture de l'usine est végétalisée. Les voitures de société sont des véhicules hybrides.

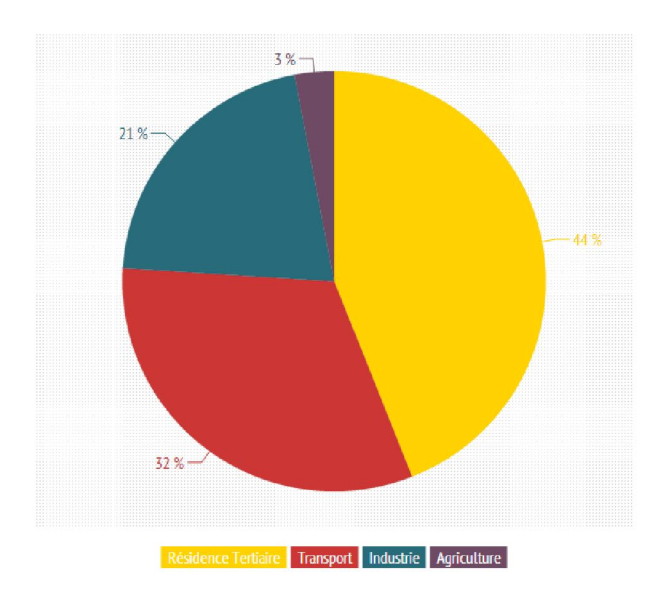


Figure 26 : Répartition de la consommation énergétique en France en 2011 (Source SOES)

3.2.1 Une révolution énergétique

Alors que la préservation de l'environnement et des ressources naturelles sont désormais des sujets incontournables, on observe une hausse globale des prix de l'énergie, en particulier dans le secteur industriel.

Les entreprises qui ne mettent pas en place de politiques d'efficacité énergétique sont donc fortement pénalisées par cette augmentation généralisée des prix. C'est pourquoi un nombre sans cesse croissant décide aujourd'hui d'investir dans des équipements à forte efficience énergétique, afin de réduire leur consommation d'électricité et leurs dépenses.
Réduire les coûts d'énergie est désormais un objectif pour beaucoup d'entreprises industrielles. Mais la situation économique actuelle représente bien souvent un frein à l'investissement dans des équipements à haute efficacité énergétique.

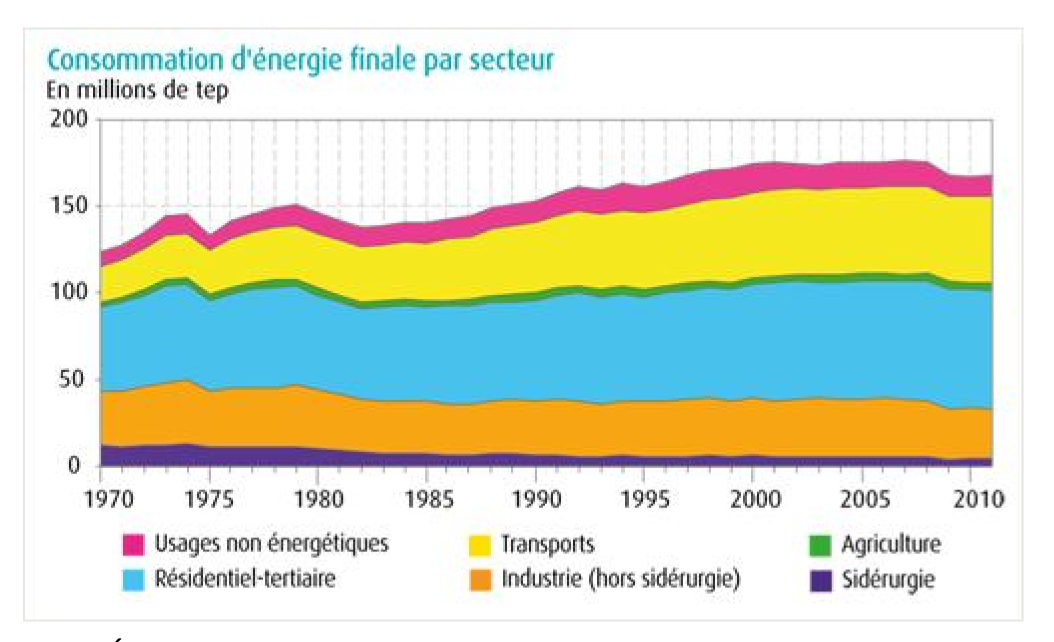


Figure 27 : Évolution de la consommation énergétique par secteur en France en 2011 (source : SOES)

Si l'industrie tente de réduire son impact énergique, l'usine du futur pourra aussi contribuer à la révolution énergétique de façon plus générale en fabricant des produits permettant des économies d'énergie.

Un exemple assez simple est celui de la voiture hybride reposant sur deux sources d'énergie : l'électricité et l'essence. Une voiture moins dépendante du pétrole, mais toujours aussi fonctionnelle. Mieux conçue, avec des nouveaux matériaux plus légers, plus résistants, pour permettre une économie d'énergie.

De même, dans le secteur des technologies de l'information, Intel recherche sans cesse à réduire la consommation de ses microprocesseurs. Cela permet de diminuer la consommation d'électricité des ordinateurs personnels, des serveurs, des machines industrielles, des data-centers. L'impact est global, Intel permet une économie d'énergie dans tous les domaines. Pour résumer, l'usine consomme moins et fabrique des produits qui consomment moins.

3.2.2 Une révolution écologique

De plus en plus, les usines cherchent à être écologiques, les nombreuses certifications écologiques en témoignent. Les entreprises devront répondre aux défis écologiques du XXIème siècle. L'objectif visé est d'arriver à une économie circulaire.

Le concept d'économie circulaire est un nouveau concept économique qui s'inscrit dans le cadre du développement durable. Elle est basée entre autre sur la valorisation des déchets, elle veut que le déchet d'une industrie d'une industrie soit recyclé et réutilisé en tant que matière première pour une autre industrie. De ce fait, le gaspillage des matières premières et de l'énergie est fortement réduit.

En France, cette "révolution écologique" commence à se mettre en place. Dans certains domaines, elle même déjà bien en place. C'est le cas pour l'industrie des matières premières (métaux, verres, papiers, cartons) qui est approvisionné à 50% par le recyclage de déchets. Néanmoins, ce modèle économique novateur reste assez confidentiel et la grande majorité de l'industrie reste sur un modèle linéaire. L'augmentation des prix des matières premières et de l'énergie favoriserait le développement l'économie circulaire.

Voici plusieurs images illustrant le concept de l'économie circulaire, et faisant le parallèle entre les écosystèmes naturels et les systèmes éco-industriels :

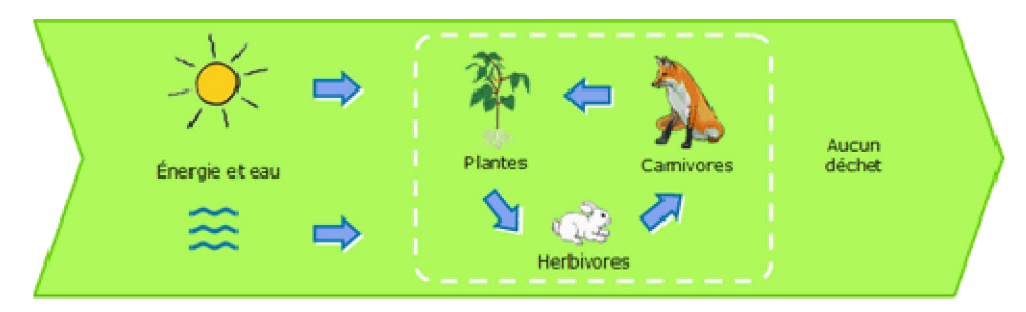


Figure 30 : Fonctionnement des écosystèmes naturels (Illustation ceiaube)

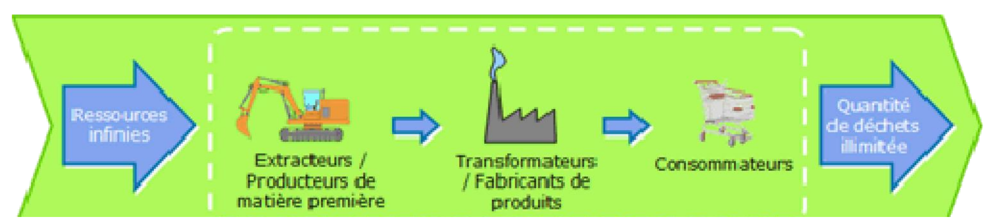


Figure 28 : Fonctionnement linéaire des systèmes "industriels" classiques (Illustation ceiaube)

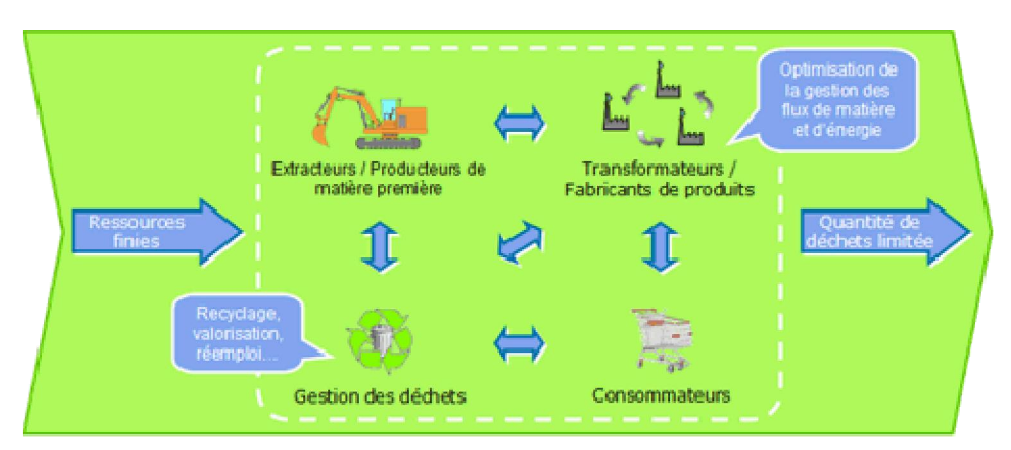


Figure 29: Fonctionnement circulaire des systèmes éco-industriels (Illustation ceiaube)

Dans un système industriel classique, il y a un décalage avec la réalité. Les usines ne fonctionnent que dans un sens : il n'y a aucune valorisation des déchets, ou d'économie, il n'y a que de la production ''aveugle''. Au contraire en s'inspirant des écosystèmes naturels, des systèmes éco-industriels pourraient voir le jour. Cela permettrait de résoudre de nombreux problèmes écologiques causés par l'industrie.

3.3 La cybersécurité et l'usine numérique

Les technologies de l'information et de la communication sont déjà présentes au sein de l'industrie et vont y prendre une place grandissante. C'est pourquoi il est nécessaire d'être averti des risques entrainé par l'utilisation des ces technologies et de connaitre les précautions à mettre en place pour minimiser ces risques.

3.3.1 L'omniprésence des nouvelles technologies

De nombreux aspects importants d'une usine sont gérés de manière informatique. Des informations sensibles et nécessaires au bon fonctionnement de l'usine sont stockées numériquement, parfois même sur des serveurs distants ou de manières délocalisées (Cloud). Les communications internes et externes sont gérés le plus souvent par mail (relations entre l'entreprise, les clients, la production et les fournisseurs).En cas de panne informatique (d'origine malveillante ou non) les conséquences sur le fonctionnement de l'usine peuvent être pire qu'une panne matérielle.

La production peut se retrouver gelée plusieurs jours à cause d'un simple bug informatique. Plus la technologie aura une place importante dans l'industrie et plus ce problème sera important. Si on arrive à des usines entièrement numériques, une panne informatique sera dramatique.

3.3.2 La numérisation des contrôles de sécurité

Les nouvelles technologies sont de plus en plus intégrées dans chaque aspects de l'industrie et notamment dans la sécurité. Dans certaines usines, par exemple, les contrôles qualités sont maintenant gérés par des automates reprogrammables.
Il serait donc possible de reprogrammer ces automates pour falsifier les résultats de ces contrôles afin de laisser passer des produits défectueux sans que ces modifications ne soient décelables.

Plus les systèmes de contrôles et de sécurité seront numérisés et plus ils seront exposés à des modifications (reprogrammation) qui mettraient en péril ces systèmes et donc l'intégrité de la sécurité d'une usine. Ces modifications peuvent avoir des motivations diverses la plus évidente étant le sabotage.

3.3.3 Attaques informatiques

L'intégration de l'informatique dans l'industrie apporte une autre menace : les attaques informatiques. Ces attaques peuvent avoir de nombreuses raisons comme l'espionnage, le sabotage ou encore la déstabilisation. On peut distinguer par ce terme trois grandes catégories:

- **Les attaques ciblées** qui ont pour but de nuire en sabotant le système (jusqu'à entrainer des dommages matériels) ou en volant des données sensibles. Ces attaques peuvent être par exemple l'action d'une société concurrente souhaitant ainsi gagner un avantage.
- **Les attaques dites "challenge"** souvent l'œuvre d'un individu qui cherche à montrer qu'il est capable de s'introduire dans un système censé être sécurisé. Si ces attaques n'ont pas pour but de saboter le système, elles peuvent tout de fois avoir des effets réels sur la sécurité des données et le fonctionnement du système.
- **Les attaques qui ont pour but de se propager dans le plus de systèmes possible** et qui ont endommagent parfois sévèrement les systèmes infectés, industriels où non.

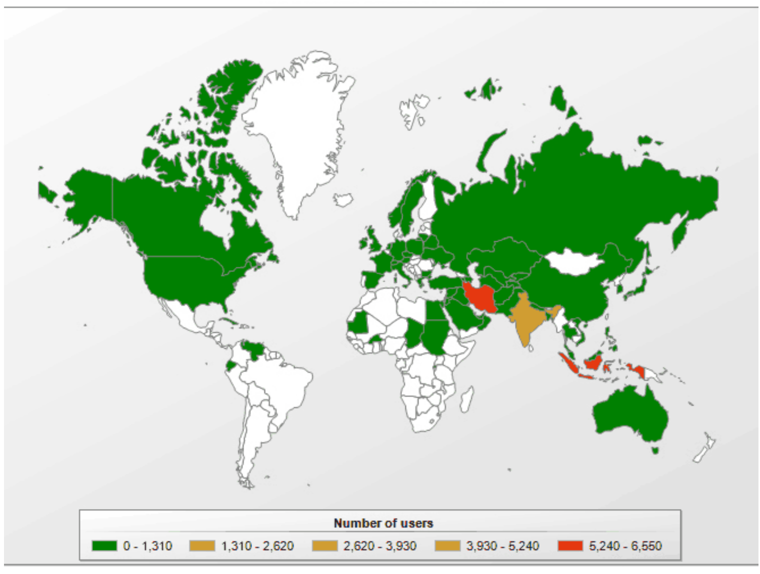


Figure 31 : propagation du ver StuxNet (Ph. VirusBlokAda)

Toutes ont des conséquences néfastes pour une usine. L'auteur d'une telle attaque peut être d'un simple particulier à un gouvernement en passant par une entreprise concurrente. Prenons l'exemple de Stuxnet. En 2009, les Etats-Unis ont mis au point un ver informatique visant à saboter les systèmes industriels iraniens. Un ver informatique est un virus dont le but est de se répandre sur le plus grand nombre de systèmes possible.

Ce vers infectait les réseaux de ces systèmes et reprogrammait de manière indétectable les automates. Il a fallu un an pour détecter le ver qui avait alors infecté et saboté 45.000 systèmes informatiques. Outre ce genre d'attaque ciblée, il existe également des virus qui se répandent sans cible particulière et qui pourrait également avoir des conséquences dramatiques sur un système industriel.

3.3.4 Les mesures de sécurité

A ce jour, il existe des structures mises en place pour améliorer la cybersécurité des systèmes industriels. En France, depuis 2009, l'Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information (ANSSI) assure la mission d'autorité nationale en matière de sécurité des systèmes d'informations.



L'ANSSI se doit d'effectuer un service de veille, détectant les menaces sur les réseaux sensible (notamment réseaux de l'état) et mettant en œuvre des mécanismes adaptée pour protéger ses réseaux. Elle travaille aussi en amont, prévenant les menaces en contribuant au développement de produits et de services de haute sécurité pour les administrations et les acteurs économiques. Elle fait la promotion des technologies et des savoir-faire nationaux et contribue au développement de la confiance dans l'économie numérique. Elle conseille et soutient les administrations et les opérateurs d'importance vitale (eau, électricité en autre). Enfin, elle informe et sensibilise le public sur les menaces via le site gouvernemental de la sécurité informatique.

Cette agence permet de poser les bases de la cybersécurité en France et tente de sensibiliser les entreprises aux risques liés aux nouvelles technologies et à leur intégration dans l'industrie.

En conclusion, ces risques sont inhérents à l'intégration des nouvelles technologies dans l'industrie, et de nouvelles menaces continuerons d'apparaitre dans le futur. Dans l'état actuel des choses, nul n'est à l'abri de ces attaques dans le secteur industriel, seuls les secteurs militaires bénéficient aujourd'hui d'une sécurité efficace contre des attaques informatiques. Il est donc nécessaire que les industries connaissent les risques et les menaces apportées par ces technologies et aient à leur disposition des experts en sécurité informatique afin de contrer ces menaces et d'assurer le bon fonctionnement de l'industrie.

4. Dessine moi l’usine du futur : Interviews

1.1 Entretien avec Michaël Honiat, ingénieur chez BA Systèmes

Sur quel marché se place BA Systèmes ?



M. Honiat : Comme d’autres sociétés feraient des chaînes d’emballages, ou des convoyeurs, nous venons nous intercaler avec des convoyeurs automatiques, guidés par laser et par des aimants au sol. Ces chariots sont plus mobiles, peuvent s’adapter facilement aux changements de flux. Ils sont aussi beaucoup plus chers.

Comment se passe l’intégration de vos chariots dans les chaînes chez vos clients ?

M Honiat : Nos chariots s’adaptent bien sur les chaînes, ils peuvent fonctionner en continu, automatiquement … Mais ils sont assez mal vus par les caristes, ils prennent leur place donc ... C’est déjà arrivé que nos chariots se prennent des coups de fourches de chariots de manutention ... Il y a encore du temps avant que l’usine entièrement automatisée soit acceptée partout. Il y en a quelques-unes qui essayent d’automatiser au maximum leurs lignes de production mais il y a toujours quelqu’un derrière pour surveiller le bon déroulement, vérifier la qualité et s’adapter à d’éventuels pics dans la demande.

Est-ce que vos appareils communiquent avec d’autres machines ?

M. Honiat : Dans le bureau d’étude, tout un pôle travaille sur les logiciels et sur la Supervision, qui commande à la fois le chariot automatique et permet aussi de s’interfacer avec les différents ERP (logiciels de gestion d’entreprise, gère le temps, les flux ...), les gestionnaires de stocks. Le chariot peut même être le superviseur d’autres machines sur chaînes d’embouteillages par exemple.

Est-ce que les clients vous demandent de viser une certaine économie énergétique ?

M. Honiat : Au niveau énergétique … non, côté industriel pas vraiment. Tous nos chariots industriels fonctionnent avec des batteries au plomb, le plus gros chariot fabriqué ici pèse onze tonnes et sa batterie fait 1,2 tonne. Donc au niveau réduction de la consommation d'énergie, on n'est pas du tout dedans. On essaye de faire des optimisations au niveau de la consommation mais pas dans l'objectif de réduire la consommation d'énergie, c'est plutôt pour augmenter l'autonomie. Comme les batteries s'usent en nombre de cycles de charges-décharges, en augmentant l'autonomie, la durée de vie des batteries serait de quatre ans, au lieu de deux ans et demi. En sachant que certains de nos chariots ont plus de vingt ans et tournent encore et que les batteries utilisées coûtent de l'ordre de la dizaine de milliers d'euros.





Figure 32: chariot automatique de BA Système (Ph BA Systèmes)

M. Honiat : Finalement, au niveau industriel ce n'est pas la priorité actuellement. Après cela dépend des sociétés, dans un partenariat avec Airbus par exemple, les batteries étaient au lithium. La durée de vie est plus importante, les composants moins polluants. Mais cela reste rare, l'aspect écologique est là parce qu'il y a un gain derrière, ou une bonne communication à faire.

Est-ce que vous utilisez des imprimantes 3D ?

M. Honiat : Ici actuellement non, on a fait appel pour un ou deux projets à ce type de technologies, mais c'était plus pour avoir un rendu que pour vraiment les utiliser. Pour un autre projet avec Airbus, pour concevoir une plate-forme de petite taille qui accueille un bras robotisé, on a réalisé un prototype. Ils ont testé cette première version et pour améliorer le concept mais en version allégée, plus petite, plus mobile, mais aussi plus puissante et avec d'autres fonctionnalités, on a émis l'hypothèse de réaliser le châssis en impression 3D.

Est-ce qu'on peut parler d'une quatrième révolution industrielle ?

M. Honiat : Pour moi, la quatrième révolution ce serait plus des technologies comme l'impression 3D, accessibles à n'importe qui. Elles permettent de réaliser des projets plus facilement, sans grosse infrastructure. Avec une imprimante 3D pour faire de la mécanique, avec un Arduino (petite carte électronique programmable) pour faire de l'électronique et du code informatique, avec quelques moteurs et composants électriques on est capable de faire à peu près tout ce qu'on veut.

Je pense que c'est plus là-dessus que ce ferait la quatrième révolution, avec des technologies accessibles. Pour l'instant c'est réservé à l'industrie parce que ça coûte cher. Mais l'Open-source permet de mettre à porter de tous la technologie, permet de réaliser un projet à faible coût, le partage de connaissance permet de stimuler la créativité.

On s'est pour l'instant assez peu intéressé à l'Open-source, mais c'est un aspect important.

M. Honiat : L'Open-source le plus connu c'est l'Open-source informatique (Linux, …) mis maintenant il y a énormément de domaines concernés : on peut trouver en Open-source de la bibliographie, des plans de pièces mécaniques, des schémas électroniques … Tout le monde ne connait pas encore mais ça se développe de plus en plus.
Beaucoup de sociétés s'intéressent à l'Open-source pour faire des gains en productivité et des gains en coût. Par exemple ici, chez BA systèmes, les trois quarts des logiciels utilisés sont en Open-source que ce soit un gestionnaire d'e-mails, un gestionnaire de versions.

Est-ce que vous pensez que même des logiciels très techniques comme SolidWorks pourraient être remplacés par des solutions libres ?

M. Honiat : Des logiciels de simulation libre existent, ils ne sont pas du même niveau que leurs concurrents commerciaux mais ils permettent déjà de faire beaucoup de choses. FreeCAD permet de faire de la conception, Code_Aster est un logiciel de simulation mécanique, développé par EDF, qui a plus de 25 ans. Il est très fiable, puisque toutes les centrales nucléaires françaises ont été testées grâce à ce logiciel. Je l'utilise pour mes simulations ici, quand on sait le prix d'une licence d'un logiciel comme SolidWorks et que ce logiciel est gratuit …

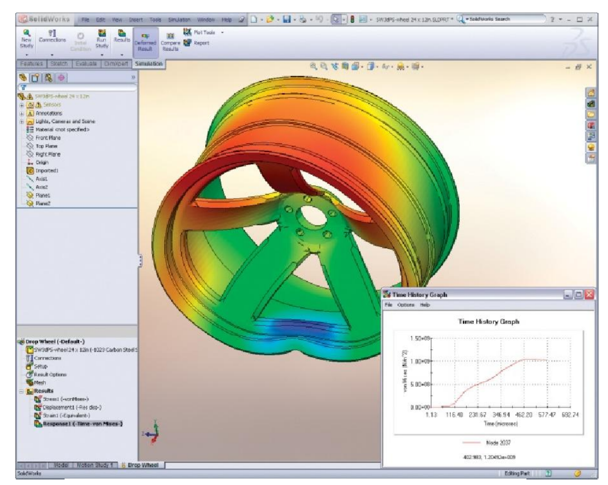


Figure 33: SolidWorks (Dassault Systemes)

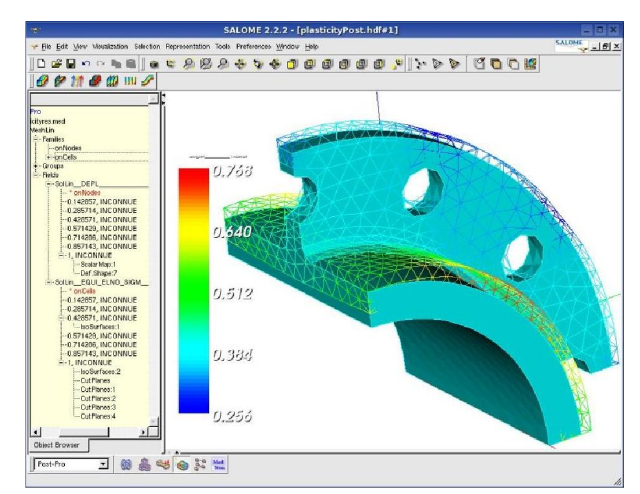


Figure 34: Code Aster (EDF)

1.2 Entretien avec Tatiana Reinhard au Fab Shop de Saint-Méloir-des-Ondes



Figure 35 : Logo du Fab Shop

Qu'est-ce qu'un FabLab ?

Mme Reinhard : C'est un espace d'environ 200 m² en moyenne qui regroupe un parc de machines comme par exemple une imprimante 3D, une machine de découpe laser ou une fraiseuse numérique. C'est un espace ouvert pour tous où les entreprises peuvent venir pour prototyper ou créer des produits en utilisant les machines mises à leur disposition. D'autre part, le Fab Lab est aussi ouvert à d'autres types de clients comme par exemple des designers ou des étudiants. Dans certains Fab Lab, une partie est privatisée pour satisfaire les sociétés qui souhaitent faire venir leurs salariés en gardant un espace confidentiel.

Comment se passe le paiement pour avoir accès à ces machines ?

Mme Reinhard : Il y a plusieurs styles d'offres en France et à l'étranger, pour l'instant c'est un peu au cas par cas, la plupart du temps le paiement s'effectue sous forme d'abonnement. Dans notre Fab Lab, la formation pour l'utilisation des machines sera comprise dans l'abonnement pour des questions de sécurité

Quelle est la différence entre un Techshop et un FabLab ?

Mme Reinhard : Le Techshop est "le niveau au-dessus", d'origine américaine c'est un espace de 1600m² possédant des machines encore plus sophistiquées. Mais, cela reste toujours ouvert à des designers ou encore à des étudiants. Des conférences peuvent aussi avoir lieux dans les Techshops.

D'où viennent vos machines ?

Mme Reinhard : Les machines viennent des États-Unis, nous sommes distributeurs de ces machines. Cependant, nous asseyons aussi de les améliorer.

Proposerez-vous une base de données avec des fichiers accessible pour vos clients ?

Mme Reinhard : Il y a plusieurs bases de données accessibles par tous, par exemple, le constructeur MakerBot propose déjà une base de donnée d'objets. Un utilisateur peut récupérer des plans déjà faits et peut donc imprimer une pièce très rapidement sans passer par une phase de conception. Sculpteo, qui est une société française, propose le même service.

Pensez-vous qu'un jour tout le monde aura accès à l'imprimante 3D ?

Mme Reinhard : Oui effectivement, je pense que c'est "l'avenir", je n'irai pas jusqu'à dire que tout le monde aura une imprimante 3D chez soit dans un avenir proche. De plus, les nouvelles techniques de scannage d'objet et de reproduction font que l'on a même plus besoin de maîtriser la modélisation 3D et rendent l'impression 3D encore plus accessible.

L'écologie est une problématique pour l'usine du futur, qu'en pensez-vous ?

Mme Reinhard : Dans notre entreprise on va vers des matériaux qui sont biodégradables, comme par exemple 'impression réalisée à partir d'algue. Nous sommes les premiers à faire ça. C'est une direction que nous essayons de prendre mais je ne sais pas en globalité ce qu'en pensent les autres entreprises.

Quel est selon vous le prochain outil qui va révolutionner l'industrie comme est en train de la faire l'imprimante 3D ?

Mme Reinhard : Je pense que la prochaine grosse révolution technologique sera la création de robots toujours plus efficaces et perfectionnés.

Conclusion

Au terme de cette enquête sur les perspectives de l'usine du futur, nous retenons en particulier l'essor récent de la technologie d'impression 3D qui fait bouger les lignes de la production en faisant rentrer la fabrication chez le particulier.

Cependant, il est à noter que les gouvernements se préoccupent à nouveau de leurs usines et en 2014 le projet phare de la France consiste à proposer une relance de l'économie par la réindustrialisation et l'innovation. Les innovations technologiques constituant un formidable carburant pour la croissance économique de demain.

Notre équipe d'élèves-ingénieurs a été confrontée au travers de cette enquête à un domaine qu'elle découvrait, hormis 2 d'entre nous qui lors d'un stage précédent avaient travaillé dans de petites structures industrielles : une imprimerie et une TPE spécialisée en colorimétrie. Il est à noter que cette répartition (deux sur cinq d'entre nous ont « touché » à l'industrie) est cohérente à celle que l'on retrouve sur le marché du travail. « Le Monde » du mois de décembre 2013 qui consacrait un dossier aux ingénieurs notait d'ailleurs : « 49 % des diplômés sont employés dans l'industrie et 41 % dans les sociétés de services. Et, alors que 10 % des ingénieurs créent des entreprises aux Etats-Unis, seuls 5 % des ingénieurs français le font. »

Notre équipe a pris conscience de certaines évolutions nécessaires : l'usine devra être connectée, intelligente, économe en énergie, etc. Ces éléments se distinguent très clairement dans nos recherches, de plus le gouvernement s'y intéresse beaucoup. En effet il a proposé, Le 12 Septembre 2013, trente-quatre plans de reconquête pour dessiner la France industrielle de demain dont un concerne l'usine du futur :

Le plan «Usine du futur» permettra à la France d'être au rendez-vous du prototypage rapide, de la convergence des réseaux sociaux, de l'hyperconnexion des entreprises, des interfaces homme-machine, de la robotique, de la réalité augmentée, du numérique, de l'impression 3D, de l'intelligence artificielle et du design.

Table des illustrations

Bibliographie

ANDERSON, Chris et LE SÉAC'H, Michel, 2012. *Makers: la nouvelle révolution industrielle*. Pearson. [Paris] : Pearson. Les temps changent. ISBN 9782744064685 2744064688.

BERCHON, Mathilde, 2013. *L'impression 3D*. Eyrolles. Paris : Eyrolles. Serial Makers. ISBN 9782212135220 221213522X.

BLANC, Sabine, 2012. Demain, des usines dans nos salons, par Sabine Blanc (Le Monde diplomatique). *monde-diplomatique.fr* [en ligne]. 1 juin 2012. [Consulté le 6 février 2014]. Disponible à l'adresse : http://www.monde-diplomatique.fr/2012/06/BLANC/47868

Encyclopédie Larousse en ligne - Internet abréviation de INTERnational NETwork réseau international, [sans date]. *larousse.fr* [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/Internet/125060

Encyclopédie Larousse en ligne - ordinateur, [sans date]. *larousse.fr* [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/ordinateur/75206

Encyclopédie Larousse en ligne - révolution industrielle, [sans date]. *larousse.fr* [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/révolution_industrielle/61047

EYCHENNE, Fabien, 2012. *Fab lab l'avant-garde de la nouvelle révolution industrielle*. FYP Editions. [Limoges]; [Paris] : FYP éd. ; FING. La fabrique des possibles. ISBN 9782916571768 2916571760.

GERSHENFELD, Neil A, 2007. *Fab the coming revolution on your desktop, from personal computers to personal fabrication*. Basic Books. New York : Basic Books. ISBN 0465027466 9780465027460.

GONZAGA, Alain, 2010. *LES_AUTOMATES_PROGRAMMABLES_INDUSTRIELS_pour_GEEA.pdf*. 17 décembre 2010.

L'usine 4.0, nouvelle révolution industrielle, 2013. *lesechos.fr* [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://www.lesechos.fr/08/10/2013/LesEchos/21538-048-ECH_l-usine-4-0--nouvelle-revolution-industrielle.htm

Le Fordisme, 2013. *henryford* [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://www.henryford.fr/fordisme/

Les Fab Labs, l'avenir de l'innovation, 2013. *LEntreprise.com* [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://lentreprise.lexpress.fr/conduite-de-projets/les-fab-labs-l-avenir-de-l-innovation_43717.html

NOUVELLE, L'Usine, 2012. L'usine du futur : *usinenouvelle.com* [en ligne]. 7 juin 2012. Disponible à l'adresse : http://www.usinenouvelle.com/article/l-usine-du-futur-numerique-creative-propre-fonctionnelle-et-rentable.N176028

PENICAUT, Nicolas, 2013. Fab lab : un atelier high-tech pour petits génies de demain. *nouvelobs.com* [en ligne]. 23 novembre 2013. Disponible à l'adresse : http://tempsreel.nouvelobs.com/economie/20131115.OBS5685/fab-lab-un-atelier-high-tech-pour-petits-genies-de-demain.html

POIROT, Serge, 2013. Conférence environnementale. La solution de l'économie circulaire. *Ouest-France.fr* [en ligne]. 19 novembre 2013. Disponible à l'adresse : http://www.ouest-france.fr/conference-environnementale-la-solution-de-leconomie-circulaire-1396342

Post-Industrial Robotic Culture | Madeline Gannon | Future CNC, [sans date]. [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://futurecnc.code.arc.cmu.edu/assignment02/post-industrial-robotic-culture-madeline-gannon/

Reperes Energie BD 08_02.pdf, 2011. [en ligne]. Commissariat general au developpement durable. Disponible à l'adresse : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Reperes/2011/Energie_ed_2011/Reperes%20Energie%20BD%2008_02.pdf